Aus der Abteilung für Werkstoffkunde (Prof. Dr. med. dent. J. Viohl)
des Instituts für Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde des Fachbereichs Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

SPALTBILDUNGEN VON 5 SILIKAT-, 5 SILIKO-PHOSPHAT- UND 5 ZINKPHOSPHATZEMENTEN BEI VERSCHIEDENEN PULVER-FLÜSSIGKEITS-VERHÄLTNISSEN

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Horst Weyers
aus Sondershausen/Thüringen

1971

Aus der Abteilung für Werkstoffkunde (Prof. Dr. med. dent. J. Viohl)
des Instituts für Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde des Fachbereichs Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

SPALTBILDUNGEN VON 5 SILIKAT-, 5 SILIKO-PHOSPHAT- UND 5 ZINKPHOSPHATZEMENTEN BEI VERSCHIEDENEN PULVER-FLÜSSIGKEITS-VERHÄLTNISSEN

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Horst Weyers
aus Sondershausen/Thüringen

Referent: Prof. Dr. med. dent. Karl Eichner
Korreferent: Prof. Dr. Joachim Viohl

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 21. Juni 1974

Druck: Der Präsident der Freien Universität Berlin – Zentrale Universitätsdruckerei V aA 4, 1 Berlin 41

Meinen Eltern in Dankbarkeit
gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546521_0083

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	6
2. HAUPTTEIL	9
2.1 Schrifttumsübersicht	9
1. Allgemeines	9
2. Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis	10
3. Spaltbildungsuntersuchungen	12
2.2 Eigene Untersuchungen	17
2.2.1 Versuchsvorbereitungen	17
1.1 Vorversuche	17
1.2 Untersuchungsklima	17
1.3 Untersuchungsmaterial	18
1.4 Bestimmung der Standardkonsistenz	19
2.2.2 Versuchsdurchführung	22
1. Herstellen der Proben	22
1.1 Formen	22
1.2 Anmischen der Zemente	22
1.3 Füllen der Formen	23
2. Lagerung der Proben	23
3. Messen der Spaltbreiten	23
4. Anzahl der Proben und Messungen	24
2.2.3 Ergebnisse	25
1. Allgemeine Ergebnisse	25
2. Mittelwertbestimmung	25
3. Spaltbildung in der Länge und Breite	27
3.1 absolute Spaltbreiten	27
3.2 relative Spaltbreiten	36
2.3 Diskussion	54
2.3.1 Spaltbildung	54
3. ZUSAMMENFASSUNG	60
4. SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS	62
5. TABELLENANHANG	69

1. EINLEITUNG

Zahnärztliche Zemente finden als plastisches Material seit Jahrzehnten neben anderen Werkstoffen in der Zahnheilkunde vielfache Verwendung. So dienen die Phosphatzemente besonders als Schutz der vitalen Pulpa und als Befestigungsmittel, die Steinzemente als Langzeitprovisorien oder als Füllungswerkstoffe für Molaren oder Praemolaren, und die Silikatzemente größtenteils als Frontzahn- oder als Zahnhalsfüllungsmaterial.

Die Forderung nach einem hermetischen Anschluß der Füllungen an den Kavitätenrand, um somit einen Dauererfolg der Füllungstherapie zu gewährleisten, gibt immer wieder zu experimentellen und klinischen Untersuchungen über Materialeigenschaften, Verarbeitungsmethoden, über die Randgestaltung und den Randschluß von Füllungen Anlaß. Mangelnde Randdichte von Zementfüllungen ist abgesehen von anderen Faktoren die Ursache für das Auftreten von Sekundärkaries. So ist die Kontrolle gerade der Füllungsränder für den behandelnden Zahnarzt unerläßlich.

Zur einheitlichen Bewertung und Prüfung der ständig wachsenden Zahl zahnärztlicher Werkstoffe hat die American Dental Association (ADA) schon in den 30er Jahren erstmals bestimmte Mindestanforderungen in Spezifikationen zusammengefaßt, die Werkstoffe erfüllen müssen, um anerkannt zu werden. Diese Spezifikationen wurden zwischen 1957 - 1964 von der Federation Dentaire International (FDI) übernommen und haben heute weitgehend internationale Bedeutung erlangt.

Für die Silikatzemente ist die FDI-Spezifikation Nr. 5 (19) und für die Zinkphosphatzemente die FDI-Spezifikation Nr. 6 (20) maßgebend. Hierin sind gewisse Normen u.a. Härtungszeit bei 37° C, Standardkonsistenz, Druckfestigkeit und Löslichkeit nach 24 h festgelegt, jedoch fehlen Hinweise über Volumenverhalten von Zementen. Für die Siliko-Phosphat-Zemente (Steinzemente) besteht interessanterweise weder bei der ADA noch bei der FDI eine Spezifikation, obwohl der Werkstoff schon über 40 Jahre in Gebrauch ist.

VIOHL (40) hält diese FDI-Spezifikationen zur Zeit am geeignetsten für zahnärztliche Werkstoffprüfungen, da die Materialien nach bewährten wissenschaftlichen Verfahren untersucht werden, sie reproduzierbare Ergebnisse liefern und mit anderen Veröffentlichungen vergleichbar sind. Materialprüfungen dürften immer mit Schwierigkeiten verbunden sein, da Bedingungen, die Mundverhältnissen entsprechen, nur schwer eingehalten werden können, so daß physikalisch-chemische Laborversuche an ihre Stelle treten müssen.

So kann VIOHL (41, 42) 1967 bei Untersuchungen an 13 in Deutschland hergestellten oder verkauften Silikatzementen feststellen, daß fünf die FDI-Spezifikation nicht erfüllen, und DEMMEL (8) 1968 aufzeigen, daß von 26 im Dentalhandel erhältlichen Zinkphosphatzementen, nach der FDI-Spezifikation Nr. 6 geprüft, nur sechs die Mindestanforderungen der FDI erfüllen.

In der vorliegenden Arbeit soll an 15 im Dentalhandel erhältlichen Zementen bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen sowie feuchter (37 $\pm$ 1° C und 95 - 100 % relativer Luftfeuchtigkeit) und trockener (23 $\pm$ 2° C und 55 $\pm$ 5 % relativer Luftfeuchtigkeit) Lagerung die Spaltbildung nach 10, 20, 30, 60, 120 und 180 min und nach 24 h zwischen Zement und stilisiertem Kavitätenrand gemessen und die Ergebnisse miteinander verglichen werden. Dazu werden 5 Silikat-, 5 Silikophosphat- und 5 Zinkphosphatzemente verwendet.

2. HAUPTTEIL

2.1 Schrifttumsübersicht

2.1.1 Allgemeines

Zahnfarbene Füllungswerkstoffe werden seit Anfang des 19. Jahrhunderts in der zahnärztlichen Praxis verwendet. Thomas FLETSCHER mit seinem ersten "translucenten Zement", ASCHER und STEENBOCK mit ihrem "künstlichen Zahnschmelz" und ROSTAING mit seinem "Dentinagene" haben sich bei der Entwicklung und Einführung der Silikat- bzw. Zinkphosphatzemente in die Zahnheilkunde verdient gemacht (15, 31). Während sich die Zusammensetzung der Silikatzemente im Laufe ihrer Entwicklung etwas geändert hat, u.a. ist bei dem Pulver an die Stelle des Zinkoxids das Aluminiumoxid getreten, ist die Zusammensetzung der Zinkphosphatzemente im wesentlichen bis heute unverändert geblieben, so der von HOFFMANN und RICHTER 1892 in den Handel gebrachte Harvard-Zement (1, 11).

Die Kombination der beiden Zementarten führt zu der Entstehung der Siliko-Phosphat-Zemente, der Steinzemente. Das Pulver besteht hauptsächlich aus Zinkoxid und Aluminiumoxid, die Flüssigkeit aus (50 % - 70 % wässriger Lösung der) Phosphorsäure. Mit dieser Kombination sollten u.a. die bessere Haftung und Pulpenverträglichkeit der Zinkphosphatzemente mit der besseren Transparenz und größeren mechanischen Widerstandsfähigkeit der Silikatzemente ergänzt werden. Diese Hoffnung erfüllte sich bis heute jedoch nicht (15, 16).

2. Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis

Es gibt eine Anzahl von Faktoren, u.a. Temperatur, Umgebungsfeuchte (= relative Luftfeuchte), Anmischmetnodik, mit denen man unter klinischen Bedingungen die Eigenschaften von zahnärztlichen Zementen beeinflussen kann. Dazu gehört auch das Verhältnis von Pulver zu Flüssigkeit in einer Zementmischung. ABRAHAM (1), EICHNER (14, 15, 16), DOLDER (10), KETTERL (24, 25), MEYER (33), WEIKART (44) und DE WIJN (48) betonen, daß die Güte eines zahnärztlichen Zements nicht nur abhängig ist von seiner chemischen Zusammensetzung, sondern auch von seiner Verarbeitung und seiner Konsistenz. Es ist daher wichtig, den Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Zemente und dem Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis zu kennen. Daraus läßt sich ersehen, zwischen welchen Grenzen sich das Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis bewegen soll. Volumenkonstanz, geringe Löslichkeit und hohe Festigkeit sind nur durch genaueste Verarbeitung von Pulver und Flüssigkeit zu erreichen. Um diese wichtigen Eigenschaften möglichst günstig zu gestalten, sollen die auf das jeweilige Arbeitsvorhaben entsprechend abgestimmten pulverreichsten Mischungen gewählt werden. KNAPPWOST (26, 27) unterstreicht ebenfalls die Wichtigkeit der Anrührkonsistenz. Pulverreiche Mischungen seien pulverärmeren in bezug auf Volumenkonstanz mehr als doppelt überlegen.

PAFFENBARGER (34, 35) gab schon 1940 zu bedenken, daß eine zu große Streuung im Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis eine große Streuung in der Güte der Füllung mit sich bringt.

DREYER-JØRGENSENs Untersuchungen (12) über Löslichkeit von Silikatzementen bestätigen 1963 diese Angaben, ebenso die Dissertation von ABRAHAM (1) für die Zinkphosphat- und die Dissertation von MEYER für die Silikatzemente (33).
WELKER (45, 46) stellt darüber hinaus fest, daß nicht nur das Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis für die Qualität des Zementes von Bedeutung ist, sondern auch die zu verarbeitende Zementmenge eine Rolle spielt. Bei der doppelten Menge eines bestimmten Pulver-Flüssigkeits-Verhältnisses soll es zu einer schnelleren Erstarrung und damit schwierigeren Verarbeitung der Zemente kommen. Ein wesentlicher Faktor für die Güte einer Füllung ist nach EICHNER (15) und DREYER-JØRGENSEN (12) die Korngröße des Pulvers. Je feiner das Pulver ist, desto homogener wird auch die Füllungsoberfläche und damit formbeständiger und widerstandsfähigker die Füllung gegen äußere Einflüsse sein.

3. Spaltbildung - Volumenkonstanz

Neben dem Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis, der Haftintensität und dem Feinheitsgrad des Pulvers, ist der Abbindevorgang für das Volumenverhalten eines Zementes von großer Bedeutung. Wohl nur bei den Zinkphosphatzementen scheint der Abbindevorgang einigermaßen aufgeklärt zu sein. KOMRSKA und Mitarbeiter (28) können 1970 aufgrund von röntgenologischen Untersuchungen den chemischen Prozeß beim Abbindevorgang der Zinkphosphatzemente aufschlüsseln.

Aus Zinkoxid und Phosphorsäure entsteht durch Kristallisation $Zn(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$. Bei 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit findet nach 2 h eine teilweise Umwandlung in $ZnHPO_4 \cdot H_2O$ statt. Nach 24 h unter gleichbleibenden Bedingungen ist neben $Zn(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ und $ZnHPO_4 \cdot H_2O$ auch noch $ZnHPO_4 \cdot 3H_2O$ vorhanden. Nach 7 Tagen entsteht unter gleichbleibenden Bedingungen neben den bisherigen Phosphaten auch noch ein tertiäres Phosphat $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$. Durch stöchiometrischen Überschuß von ZnO in allen Phosphatzementen und durch Zusätze von Aluminium- und Magnesiumoxiden werden die entstandenen Phosphatkristalle innerhalb von 24 h in tertiäres Phosphat übergeführt, womit die Abbindephase schneller abgeschlossen und wohl die stabilste Phase des Zementes erreicht sein dürfte.

Bei Silikatzementen schreibt MICHNER (13, 15, 16), ist wohl sicher, daß keine Kristallisation wie bei den Zinkphosphatzementen eintritt, sondern der Zement in amorpher Form abbindet. Der chemische Abbindevorgang ist nicht in allen Einzel-

heiten geklärt (15, 16, 47). Silikatpulver reagiert mit der Phosphorsäure, wobei Kieselsäure freigesetzt wird. Das dabei freiwerdende Aluminium reagiert mit der Phosphorsäure zu einem Phosphat, welches von der Kieselsäure und H_2O als Aluminiumsilikat- und Silikatgel umlagert wird. Es entsteht ein komplexes Gel. Siliko-Phosphat-Zemente binden entsprechend ihrer Grundsubstanz ab.

Alle zahnärztlichen Zemente schrumpfen während des Abbindens. Der dabei auftretende Spalt kann sich in zwei Formen bemerkbar machen:

1. zwischen Füllungs- und Kavitätenrand
2. als Riß in der Füllung (15).

Diese Volumenänderungen werden schon um 1910 mit Farbstoffdiffusionen teilweise an extrahierten Zähnen aufgezeigt. PROELL (37) berichtet 1916 über Kontraktionsmessungen von 3,7 % bei Mundbedingungen (37°C) mit Hilfe eines konischen Bronzemeßstabes, über den er Zementringe legt, was bei einer Füllung von 3 mm über 100 µm Volumenänderung ausmachen würde.

GERLACH und LINKE (22) beobachten 1936 anhand eines mit Quecksilber gefüllten Röhrchens, dessen Ende als ein Reservoir aus Gummi sich in einem Zement enthaltenden Zylinder aus Zelluloid befindet, wesentliche Kontraktionserscheinungen, die nach ca. drei Tagen beendet sind.

HAUSER (23) macht 1940 die Grenzspaltbildung der Zemente in der Kavität durch klinische Untersuchungen mit seiner Adhäsionsreliefmethode sichtbar, die auf der Grundlage eines Abdruckes mit Zelluloidlösung von der zu untersuchenden Oberfläche getragener Füllungen beruht.

DELWS (6) untersucht 1954 sechs Silikatzemente nach der von KNAPPWOST (26) angegebenen Blasendruckmethode. Grundlage ist hier das Austreten von Luftblasen aus einem nach 24 h von Beginn des Anrührens in 18°C warmes Wasser getauchten Prüfröhrchens, das mit Silikatzement verschlossen ist. Die kapilläre Spaltbildung in um wird aus den Blasenabreißdruckwerten berechnet. Prüfröhrchen und Material lagerten für 24 h in feuchtem Milieu bei 37°C. Die Spaltbreiten werden bei drei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen gemessen. Es zeigt sich, daß die dicksten der jeweiligen Mischungen innerhalb von 9 Tagen am wenigsten (5,5 - 9,6 µm) und die dünnsten am stärksten (6,7 - 12,7 µm) schrumpfen.

KNAPPWOST (27) stellt bei Zementen mit Faserzusätzen eine um 50 % geringere Schrumpfung gegenüber solchen ohne Faserzusatz fest, jedoch können neuere Untersuchungen von FRITZ und KETTERL (21) das nicht bestätigen.

BRAUN (5), DRESSLER (11) und RÜHLCHEN (38) untersuchen 1966 an stilisierten 40 x 10 x 1,5 mm großen ovalen Kavitäten die Volumenbeständigkeit von 15 Phosphat-, 10 Silikat- und 14 Steinzementen. 30 min nach Anrührbeginn werden diese von Kunststoff umgebenen Füllungen mit warmer Gelatine überschichtet, um die Spaltbreiten sichtbar zu machen, und für weitere 30 min bei BRAUN und RÜHLCHEN und für 24 h bei DRESSLER in einem Brutschrank bei 37°C, und danach für weitere 30 min zur Abkühlung in einem Eisschrank aufbewahrt. Es ergibt sich eine Schrumpfung von 22 - 149 µm bei Zinkphosphat, 45 - 170 µm bei Silikat- und 76 - 183 µm bei den Steinzementen. Gleich-

zeitig werden entsprechende 15 mm x 10 mm x 3 mm große Zementproben 1 h trocken bei 20°C gelagert, nach einer weiteren Stunde mit physiologischer Kochsalzlösung befeuchtet und mit einer Meßuhr (Mikrokator) die lineare Schrumpfung gemessen. Es finden sich nach 24 h für Zinkphosphat 0,5 - 3,0 %, für Silikat 0,4 - 3,0 % und für Steinzemente 0,5 - 3,3 % lineare Schrumpfungen.

PAFFENBARGER und Mitarbeiter (34, 35) zeigen 1938 die Dimensionsänderung bei Zinkphosphatzementen und bei Silikatzementen während des Abbindevorganges mit einem Interferrometer auf. Die Prüfkörper werden hierzu mit 37°C warmen destillierten Wassers überdeckt. Nach 1 h zeigt sich bei den Zinkphosphatzementen eine lineare Kontraktion von 0,01 - 0,05 %, nach 24 h 0,35 - 0,6 %. Bei den trocken lagernden Proben, also bei 21°C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit, findet sich eine lineare Dimensionsänderung von 2,8 - 3,0 % nach 24 h.

Bei den Silikatzementen zeigt sich nach 24 h bei einer Temperatur von 37°C und in destilliertes Wasser gelagerten Proben eine Schrumpfung von 11,5 µm/cm bei 1,6 g Pulver pro 0,50 ml Flüssigkeit, 19 µm/cm bei 1,4 g/0,50 ml, und 28 µm/cm bei 1,2 g/0,50 ml.

Bei 21°C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit trocken lagernden Proben zeigen sich nach 24 h Schrumpfungen bis zu 128 µm/cm.

DEMMEL (9) untersucht 1971 bei imitierten Mundverhältnissen an zylindrischen Prüfkörpern von 6 mm Durchmessern und 12 mm Höhe in einer feuchten Kammer bei 37°C das Dimensionsverhalten

von Polyacrylatzementen im Vergleich zu Phosphatzementen und kann nachweisen, daß Polyacrylatzemente eine vierfach stärkere Abbindekontraktion haben als herkömmliche Zinkphosphatzemente. Zinkphosphatzemente schrumpfen 0,1 - 0,2 % und Polyacrylatzemente 0,5 - 1,0 % nach 24 h.

Die Abbindekontraktion der Zemente wird nach EICHNER (13, 14, 15), PAFFENBARGER (34, 35) und PEYTON (36) allgemein auf Wasseraustritt beim Erhärtungsvorgang zurückgeführt. Das Ausmaß dieser Kontraktion ist bei den einzelnen Zementen abhängig vom Grad ihrer Aushärtung bzw. vom Verhältnis reversibel zu irreversibel gebundenem Wasser. Zudem kann durch Austrocknung der Zemente an der Luft und Abkühlung unter Mundtemperatur (z. B. beim Mundatmen) entsprechend der verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten von Füllmaterial und Zahngewebe die effektive Kontraktion verstärkt werden, wie KÖRBER und MOTSCH (30) berichten. Nach EICHNER (15) u.a. hängt die Volumenänderung der Zemente anfangs im wesentlichen von dem Feuchtigkeitsgefälle und der Temperatur der Umgebung ab. Alle Zemente schrumpfen an trockener Luft stärker. In der Mundhöhle trocknet ein Zement normalerweise nicht aus, es kommt durch den Speichel zu einer zusätzlichen Wasseraufnahme, die eine wesentlich geringere Schrumpfung ergibt.

2.2 Eigene Untersuchungen

2.2.1 Versuchsvorbereitungen

1. Vorversuche

Werkstoffkundliche Untersuchungen sollen reproduzierbare Ergebnisse liefern. Um dieses zu erreichen, muß unter anderem auch stets mit entsprechend gleichartiger Zementkonsistenz gearbeitet werden. Da die Zemente jedoch manuell aus Pulver und Flüssigkeit gemischt werden, sind Qualitätsunterschiede unvermeidlich und ursächlich für eine Streuung der zu erreichenden Meßwerte verantwortlich. Um diese Fehler auf ein Minimum zu reduzieren, muß auf Gleichmäßigkeit und große Fertigkeit in der Anrührtechnik Wert gelegt werden. Zahlreiche Vorversuche nach den entsprechenden Prüfvorschriften der FDI-Spezifikation Nr. 5 und Nr. 6 haben diesem Ziel gedient und zur Selbstkontrolle ist wiederholt die Standardkonsistenz verschiedener Zemente geprüft worden.

2. Untersuchungsklima

Alle Versuche werden ausschließlich in einem klimatisierten Raum vorgenommen, in dem sowohl die Werkstoffe als auch die Formen und Geräte, wie Anrührspatel, Glasplatten, Meßinstrumente usw. aufbewahrt werden. In diesem Raum herrscht eine ständige Temperatur von 23 $\pm$ 2°C und eine Luftfeuchtigkeit von 55 $\pm$ 5 %. Die Klimawerte registriert laufend ein Thermohygrograph. Dieses Klima liegt innerhalb von den FDI-Spezifikationen Nr. 5 und 6 geforderten Grenzen von 23 $\pm$ 2°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 - 75 %.

3. Versuchsmaterial

Zur Untersuchung von Spaltbreiten gelangen 15 zahnärztliche Zemente:

5 Silikatzemente:

SQ	SS White
Omnifil	Jota
Crystone	Hoffmann und Richter
Bio-Trey	De Trey
Achatit-Biochromatic	Vivadent

5 Siliko-Phosphat-Zemente:

Trans-Tit	Merz & Co.
Drala	Drala GmbH
Cupro-Dur	Vivadent
Keratit-Cuproxal hell	Vivadent
Harvardid	Hoffmann und Richter

5 Zinkphosphatzemente:

Tenet	Vivadent
Fixodent	De Trey
Harvard N	Hoffmann und Richter
Harvard S	Hoffmann und Richter
Badenia Super Phos N	Badenia

Durch frühere Untersuchungen ist herausgefunden worden, daß der Silikatzement Omnifil (42) und der Zinkphosphatzement Badenia Super Phos (8) nicht den Anforderungen der entsprechenden FDI-Spezifikation entspricht.
Beide Zemente wurden dennoch in die Untersuchungen mit einbezogen, um vergleichsweise zu prüfen, wie bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen die Spaltbildungen ausfallen.

4. Bestimmung der Standardkonsistenz

Die Standardkonsistenz wird für die Silikatzemente nach den Richtlinien der FDI-Spezifikation Nr. 5 und für die Zinkphosphatzemente nach der FDI-Spezifikation Nr. 6 durchgeführt. Da für Siliko-Phosphat-Zemente die FDI-Spezifikation erst in Vorbereitung ist, und nach den Richtlinien der FDI-Spezifikation Nr. 6 die Standardkonsistenz der Siliko-Phosphat-Zemente eine nicht praxisübliche zu dünne Konsistenz aufweist, wird nach der FDI-Spezifikation Nr. 5 vorgegangen. Für die Silikat- und Siliko-Phosphat-Zemente wird die Spezifikation dahingehend geändert, daß anstelle der 0,4 ml 0,50 $\pm$ 0,02 ml Flüssigkeit benutzt wird.

Eine auf 0,01 g abgewogene Pulvermenge wird mit 0,50 ml Flüssigkeit, die auf $\pm$ 0,02 ml abgemessen wird, vermischt, wobei die Gesamtmischzeit bei Zinkphosphatzementen 1 1/2 Minuten, bei Silikat- und entsprechend bei Siliko-Phosphat-Zementen 1 Minute beträgt. 0,50 ml der angerührten Masse wird in eine Glasröhre mit einem Durchmesser von 10 mm gefüllt und durch Kolbendruck auf eine Glasplatte geleert. Drei Minuten für Zinkphosphat- beziehungsweise zwei Minuten für Silikat- und Siliko-Phosphat-Zementen nach Beginn der Mischung wird eine Glasplatte (20 $\pm$ 1 g) mit dem notwendigen zusätzlichen Gewicht bis zu einer Gesamtbelastung von 120 g bei Zinkphosphat- bzw. 2500 g bei Silikat- und Siliko-Phosphat-Zementen auf dem weichen Zement niedergelassen. Diese Tests wurden solange durchgeführt, bis zehn Minuten nach Mischungsbeginn

der Durchmesser der entstandenen Zementscheibe 30 mm ± 1 bei Zinkphosphat- bzw. 25 mm ± 1 bei Silikat- und Siliko-Phosphat-Zementen beträgt. Ist der Durchmesser größer, ist die Konsistenz zu dünn, ist er kleiner, ist sie zu dick. Das Gewicht des Pulvers, das bei drei wiederholten Bestimmungen den entsprechenden Durchmesser erreicht, wird auf die nächsten 0,05 g aufgerundet und man erhält so die Menge Pulver, die mit 0,50 ml Flüssigkeit angemischt die Standardkonsistenz ergibt.

Es ergeben sich für die einzelnen Fabrikate folgende Werte für die Standardkonsistenzen:

Silikatzemente:

MQ	1,9 g
Omnifil	1,3 g
Crystone	1,65 g
Bio-Trey	1,7 g
Achatit-Biochromatic	1,85 g

Siliko-Phosphat-Zemente

Trans-Lit	1,75 g
Drala	1,75 g
Cupro-Dur	1,8 g
Keratit-Cuproxal hell	1,75 g
Harvardid	1,8 g

Zinkphosphatzemente

Tenet	1,2 g
Fixodent	1,2 g
Harvard N	1,1 g
Harvard S	1,2 g
Badenia Super Phos N	0,7 g

2.2.2 Versuchsdurchführung

1. Herstellen der Proben

1.1 Formen

Für die Herstellung der verwendeten Prüfkörper werden Messingplatten von 1,5 mm Stärke benutzt, in denen rechteckige Ausschnitte in einer Länge von 40 ± 0,1 mm und einer Breite von 6 ± 0,1 mm eingestanzt sind. Die Ecken werden abgerundet, um die Ausbildung von Stengelkristallen an spitzen Ecken zu verhindern DRESSLER (11).

1.2 Anmischen der Zemente

Alle zu untersuchenden Silikat- und Siliko-Phosphat-Zemente werden mit der Hand nach den vorgeschriebenen Gesichtspunkten der FDI-Spezifikation Nr. 5 (jedoch 0,50 ml statt 0,40 ml Flüssigkeit), und alle Zinkphosphatzemente nach der FDI-Spezifikation Nr. 6 angemischt. Es werden jeweils drei verschiedene Konsistenzen pro Zement angemischt:

1. Standardkonsistenz
2. Standardkonsistenz + 0,2 g Pulver/0,50 ml Flüssigkeit
3. Standardkonsistenz - 0,2 g Pulver/0,50 ml Flüssigkeit

Nach ABRAHAM (1) und MEYER (33) lassen sich mit diesen um 0,2 g unterschiedlichen Pulvermengen teigig feste bis teigig fließende Zementmischungen herstellen, die noch klinisch verwendbar erscheinen.

1.3 Füllen der Form

2 – 2 1/2 Minuten nach dem Mischungsbeginn erfolgt das Füllen der Form mit Zement. Auf einer mit Kofferdamgummi (2 mm dick) glattflächig beschichteten 10 x 8 cm großen Metallplatte wird eine auf der Unterseite mit Polyäthylenfolie isolierte Messingplatte mit Klammern festgehalten. Dadurch kann erreicht werden, daß nach Einfüllen des Zements und Aufdrücken einer ebenfalls mit Polyäthylenfolie isolierten Glasplatte die untere Seite nach der Aushärtungszeit nicht bearbeitet zu werden braucht, da keine Zementpreßfahne entsteht.

2. Lagerung der Proben

3 - 3 1/2 Minuten nach Mischungsbeginn werden die Formen mit den entsprechenden Konsistenzen in eine Klimakammer mit etwa 95 - 100 % rel. Luftf. und einer Temperatur von 37 ± 1°C gebracht (feuchte Lagerung) und im klimatisierten Raum mit 55 ± 5 % rel. Luftf. und einer Temperatur von 23 ± 2°C belassen.

3. Messen der Spaltbreiten

10, 20, 30, 60, 180 min und 24 h nach Mischbeginn werden die Spaltbreiten mit Hilfe eines Meßmikroskops der Firma Zeiss gemessen, das mit einem 3fach Objektiv und 10fachen Winkelmeßokkular eine 30fache Vergrößerung in der Aufsicht ergibt. Um zu den verschiedenen Zeiten immer an denselben Stellen messen zu können, werden 10 Meßpunkte auf jeder Form fixiert.

Die feuchtgelagerten Proben werden zu der jeweiligen Messung für 1 - 1 1/2 min der Klimakammer entnommen. (Abb. 1)

5. Anzahl der Proben und Messungen

Jeder Zement wird in drei verschiedenen Konsistenzen geprüft. Für jede Konsistenz werden 12 Proben hergestellt, sechs für die feuchte und sechs für die trockene Lagerung. So gelangen bei 15 Zementen 540 Prüfkörper zur Untersuchung. Dementsprechend werden 5400 Einzelmessungen durchgeführt. Nach den Messungen werden die Formen im Ultraschall von Zementrückständen gereinigt.

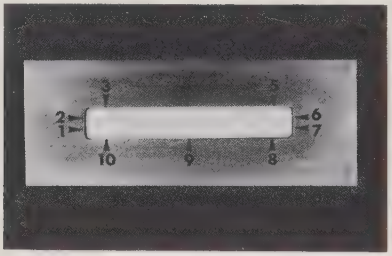


Abb. 1 Übersicht einer Zementprobe in der Messungsprüfform mit den Meßpunkten 1 - 10 (Maßstab 1 : 1)

2.2.3 Ergebnisse

1. Allgemeine Ergebnisse

Alle Pulver sind fein- bzw. mittelfeinkörnig. Achatit-Biochromatic erscheint durch den Faserzusatz etwas aufgelockert. Bis auf Omnifil und Badenia Super Phos N, dessen Flüssigkeit das Pulver beim Einspateln wenig zu benetzen schien, lassen sich alle Zemente leicht mit der Flüssigkeit vermischen. Bei den Silikat- und Siliko-Phosphat-Zementen ergibt sich, daß beide nach der FDI-Spezifikation Nr. 5 hergestellten Standardkonsistenzen durchaus eine praxisübliche Mischung ergeben, wobei die der Siliko-Phosphat-Zemente etwas dünner erscheint. Mischungen der Phosphatzemente nach der FDI-Spezifikation Nr. 6 könnten jedoch nur zum Zementieren verwendet werden.

Bei allen Zementen konnte zusätzlich 0,2 g Pulver gut in die Flüssigkeit eingerührt werden, was bei den Phosphatzementen zu einer durchaus üblichen Konsistenz für Unterfüllungen und bei den Siliko-Phosphat-Zementen zu einer durchaus üblichen Konsistenz für Langzeitprovisorien führte. Dünnere Mischungen als die der Standardkonsistenz - 0,2 g führen durchweg zu teigig-tropfenden und klinischen nicht üblichen Konsistenzen.

2. Mittelwertbestimmung

Zur Feststellung, ob die einzelnen Meßreihen als einheitlich zu bewerten sind und zur Beurteilung der Meßergebnisse der Spaltbreiten ist es notwendig, das arithmetische Mittel und die Standardabweichung sowie den Variationskoeffizienten zu

berechnen (39). Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung s bestimmen die Lage des Durchschnittswertes einer Meßreihe sowie die Größe der Schwankung oder Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert.

Um die mittlere Gesamtspaltbreite eines Materials zwischen Prüfform und Zement in der Länge und Breite zu erhalten, werden die Spaltbreiten der zusammengehörenden Meßstellen jeweils in der Länge (1 u 7 bzw. 2 u 6) sowie in der Breite (3 u 10 bzw. 4 u 9 bzw. 5 u 8) zusammengefaßt (Abb. 1). So ergeben sich für die Länge 2 und für die Breite 3 Mittelwerte, aus denen dann wiederum ein Mittelwert gebildet wird. Man erhält so für jede Zementprobe einen Gesamtmittelwert der Spaltbreiten in µm für die Längsseite und für die Schmalseite. Aus 6 Proben also 6 Gesamtmittelwerte, aus denen dann nach

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

ein arithmetischer Gesamtmittelwert in µm für einen Zement errechnet wird. Die Standardabweichung wird nach

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}}$$

der Variationskoeffizient nach

$$V = \frac{s}{\bar{x}}$$

für jeden Zement ermittelt. Die Standardabweichung s, der Variationskoeffizient (V) und der arithmetische Gesamtmittel-

wert $\bar{x}$ für jeden der 15 Zemente sind im Tabellenanhang enthalten.

Die Streuung der mittleren Spaltbreite zur mittleren Gesamtspaltbreite ist 24 h nach Mischbeginn bei den Silikatzementen zwischen $\pm$ 2 % und $\pm$ 8 %, bei den Siliko-Phosphat-Zementen zwischen $\pm$ 2 % und $\pm$ 10 % und bei den Zinkphosphatzementen zwischen $\pm$ 2 % und $\pm$ 11 %. Die Streuung einer Meßreihe sollte nach SACHS (36) nicht größer als $\pm$ 30 % sein. Je kleiner die Streuung ist, umso wahrscheinlicher ist die zu erwartende Spaltbreitengröße. Eine größere Streuung der mittleren Spaltbreiten zur Gesamtspaltbreite findet sich bei den Proben der feuchten Lagerung zwischen 10 min und 60 min und zwischen 10 min und 20 min bei trockener Lagerung in der Breite, die auf Meßungenauigkeiten der zunächst kleinen Spaltbreiten zwischen 5 µm und 15 µm zu Beginn der Abbindephase zurückzuführen ist.

3. Spaltbreiten in der Länge und Breite

3.1 absolute Spaltbreiten

Die Ergebnisse der mittleren Gesamtspaltbreite in den absoluten Werten für die Länge aller 15 Zemente können aus dem Tabellenanhang entnommen werden. Abb. 2 - Abb. 6 zeigen auf der Ordinate die Spaltbreite in µm und auf der Abszisse die Zeit in Minuten bzw. Stunden an. Die Werte sind mittlere Gesamtspaltbreiten aus 6 Proben vom Zement mit der größten und mit der geringsten Spaltbildung aller 15 Zemente bei

Standardkonsistenz - 0,2 g Pulver (gestrichelte Linie), bei Standardkonsistenz (durchgehende Linie) und bei Standardkonsistenz + 0,2 g Pulver (gestrichelt und gepunktete Linie) in der Länge L_1-L_3 und in der Breite b_1-b_3. Um ein übersichtliches Kurvenbild zu erhalten, wird wegen der größeren Spaltbreiten für die trockenere Lagerung ein anderer Ordinatenmaßstab (Abb. 2 - 3) notwendig. Die Kurven der Breite (b_1-b_3) bei trockener Lagerung würden etwa mit denen der Länge bei feuchter Lagerung zusammenfallen. In Abb. 6 wird vom Material mit der geringsten und größten Spaltbildung wegen der besseren Übersicht auch nur die Länge bei Standardkonsistenz sowohl feucht als auch trocken gelagert gezeigt. Wie Abb. 2 - Abb. 6 deutlich machen, steigen alle Kurven mit zunehmendem Pulveranteil von 0,2 g annähernd kontinuierlich an. Einem relativ raschen Ansteigen in der ersten Stunde folgt ein fast gradliniger Verlauf der Kurven in allen drei Konsistenzen bis zur 24. Stunde nach Mischbeginn. Der Kurvenverlauf zwischen der dritten und 24. Stunde ist verkürzt wiedergegeben und zeigt daher ein noch einmal scheinbar stärkeres Ansteigen der Spaltbildung. Silikatzement Omnifil weist von allen 15 Materialien in den verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen sowohl bei feuchter (Abb. 5) als auch bei trockener Lagerung (Abb. 3) in Länge und Breite die größte Dimensionsänderung beim Abbinden in 24 h auf. Selbst in der pulverreichsten Konsistenz schrumpft Omnifil noch stärker als 12 der anderen 14 Zemente bei Standardkonsistenz. Crystone ist, bis auf Bio-Trey bei Standardkonsistenz, in

feuchter Lagerung (Abb. 11) der Zement mit der geringsten Dimensionsänderung (Abb. 2 und 4) aller 15 Materialien beim Abbinden in 24 h. Die Spaltbreiten der anderen Zemente liegen ungefähr in einem Bereich bis zur doppelten Größe von Crystone.

Es fanden sich folgende mittlere Gesamtspaltbreiten in der Länge nach 24 h für die Standardkonsistenz.

Tab. 1	37 ± 1°C/95-100 %	23 ± 2°C/55 ± 5 %
Silikatzemente	65 µm - 214 µm	556 µm - 1148 µm
Siliko-Phosphat-Zemente	91 µm - 170 µm	637 µm - 860 µm
Zinkphosphatzemente	92 µm - 166 µm	697 µm - 905 µm

Die Standardkonsistenzen der Zemente werden jeweils durch Zugabe von 0,2 g Pulver verändert. Es fanden sich folgende mittlere Gesamtspaltbreiten in der Länge nach 24 h für die dickere Konsistenz (Standardkonsistenz + 0,2 g Pulver)

Tab. 2	37 ± 1°C/95-100 %	23 ± 2°C/55 ± 5 %
Silikatzemente	53 µm - 164 µm	361 µm - 961 µm
Siliko-Phosphat-Zemente	61 µm - 101 µm	463 µm - 700 µm
Zinkphosphatzemente	62,5 µm - 105 µm	518 µm - 704 µm

Es fanden sich folgende mittlere Gesamtspaltbreiten in der Länge nach 24 h für die dünnere Konsistenz (Standardkonsistenz - 0,2 g Pulver)

Tab. 3	37 ± 1°C/95-100 %	23 ± 2°C/55 ± 5 %
Silikatzemente	122 µm - 298 µm	750 µm - 1470 µm
Siliko-Phosphat-Zemente	137 µm - 244 µm	787 µm - 1021 µm
Zinkphosphatzemente	130 µm - 224 µm	852 µm - 1100 µm

In den folgenden Abbildungen 2 bis 6 sind die Spaltbreiten in µm von Omnifil und Crystone während des Abbindens innerhalb von 24 h in Länge und Breite bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen dargestellt. Für jede Konsistenz wurde für die Abbildungen 2 - 15 eine gleichbleibende Kurvenkennzeichnung gewählt: gestrichelt für Standardkonsistenz - 0,2 g P, durchgehend für die Standardkonsistenz und gestrichelt-punktiert für Standardkonsistenz + 0,2 g P.

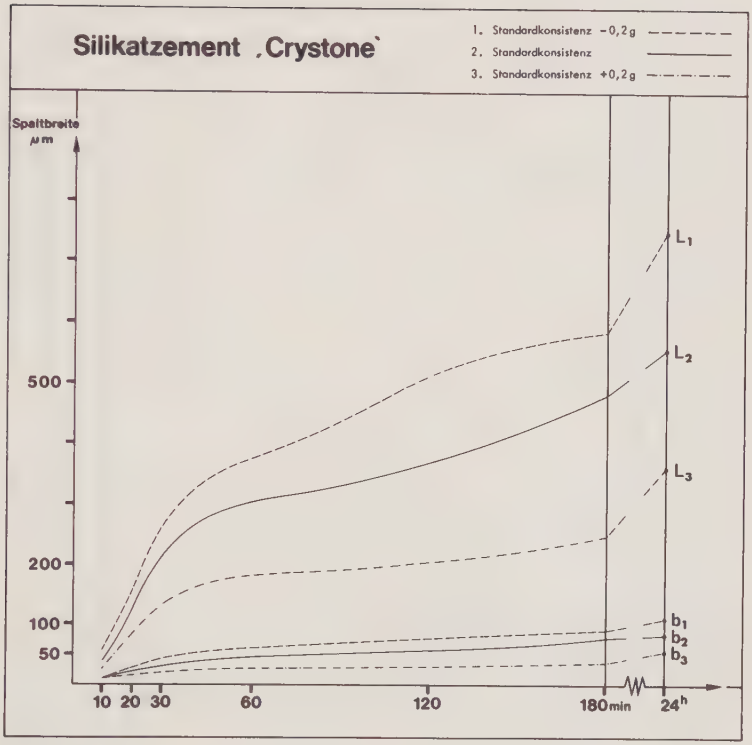


Abb. 2 Spaltbreiten in µm des Zementes mit der geringsten Dimensionsänderung aller 15 Materialien bei 23 °C und 55 % relativer Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit vom Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis in der Länge L_1-L_3 und Breite b_1-b_3.

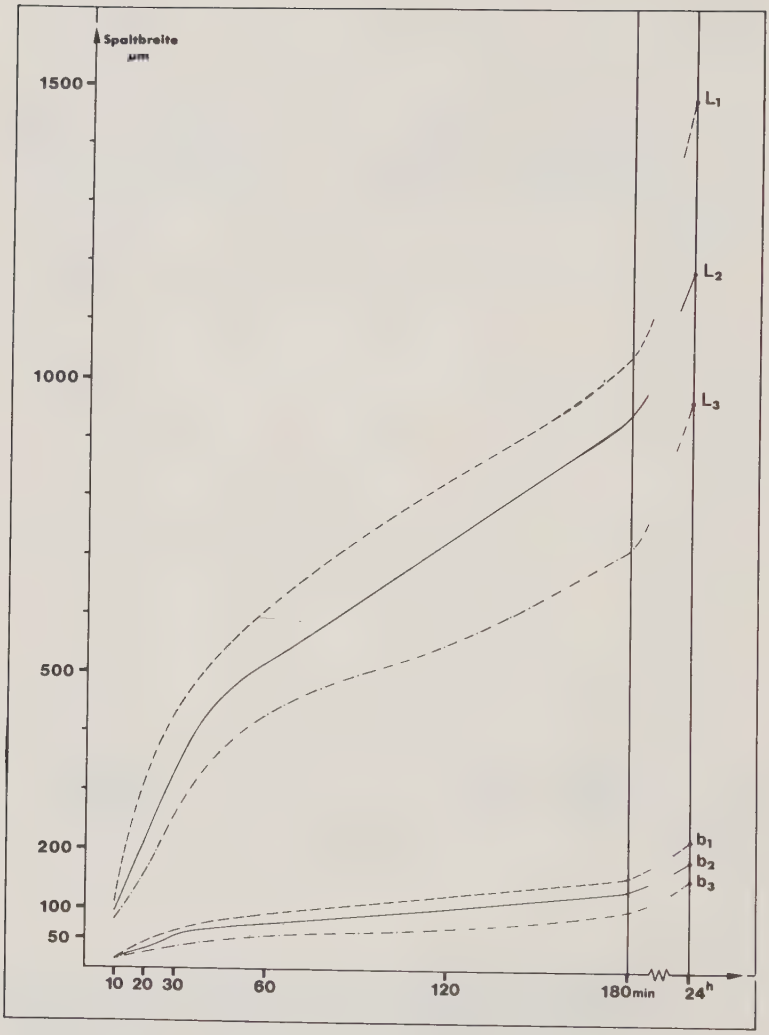


Abb. 3 Spaltbreiten des Silikatzementes Omnifil mit der größten Dimensionsänderung aller 15 Materialien bei 23°C und 55 % relativer Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit vom Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis in der Länge L_1-L_3 und Breite b_1-b_3.

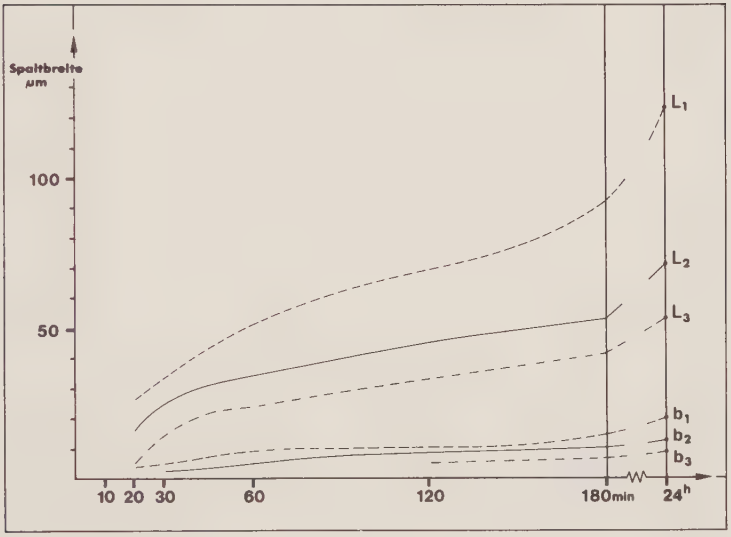


Abb. 4 Spaltbreiten in µm des Silikatzementes Crystone mit der geringsten Dimensionsänderung aller 15 Materialien bei 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit vom Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis in der Länge und Breite.
L_1 und b_1: Standardkonsistenz - 0,2 g P/0,50 ml F
L_2 und b_2: Standardkonsistenz 1,65 g P/0,50 ml F
L_3 und b_3: Standardkonsistenz + 0,2 g P/0,50 ml F

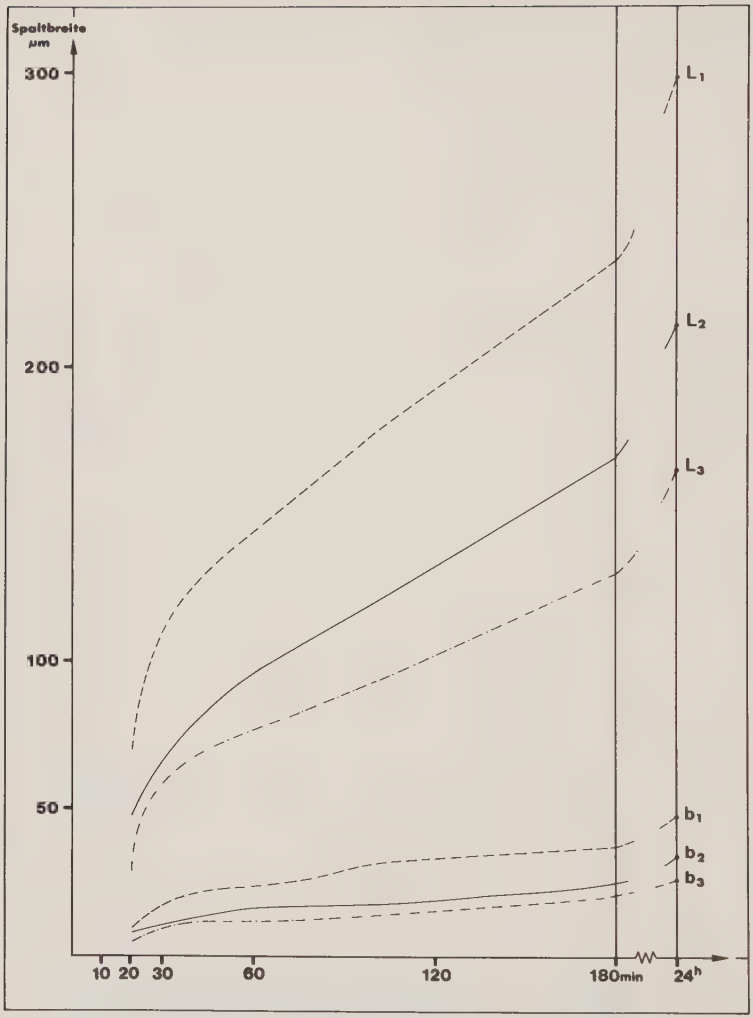


Abb. 5 Spaltbreiten in µm des Silikatzementes Omnifil mit der größten Dimensionsänderung aller 15 Materialien bei 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit vom Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis in der Länge und Breite.
L_1 und b_1: Standardkonsistenz - 0,2 g P/0,50 ml F
L_2 und b_2: Standardkonsistenz 1,30 g P/0,50 ml F
L_3 und b_3: Standardkonsistenz - 0,2 g P/0,50 ml F

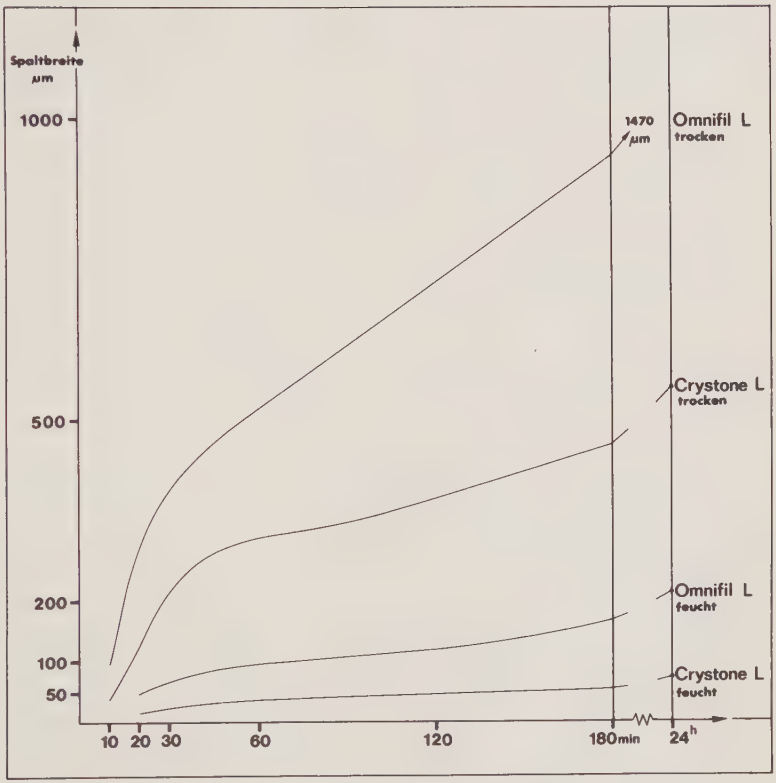


Abb. 6 Vergleich zwischen den Zementen mit den größten bzw. kleinsten Spaltbreiten in um aller 15 Materialien bei 37 °C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit sowie 23 °C und 55 % relativer Luftfeuchtigkeit in der Länge (L) bei Standardkonsistenz.

2.2 relative Spaltbreiten

Die mittlere lineare Gesamtschrumpfung kann aus den graphischen Darstellungen Abb. 7 bis 15 entnommen werden. Auf der Ordinate ist entsprechend die mittlere Gesamtschrumpfung von 6 Proben in % angegeben. Die Zeit auf der Abszisse bleibt unverändert. Um ein übersichtliches Kurvenbild zu erhalten, wird für die trockene Lagerung wegen der größeren Schrumpfung ein anderer Ordinatenmaßstab gewählt. Abb. 7 bis 10 zeigen den Vergleich der linearen Dimensionsänderung in % zwischen der Länge und Breite während des Abbindens in 24 h bei dem Material mit der größten (Omnifil) und kleinsten (Crystone) Dimensionsänderung aller 15 Zemente bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen in 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit und in 23°C und 55 % relativer Luftfeuchtigkeit. Der Kurvenverlauf in diesen Abbildungen, der im Bereich bis zur ersten Stunde Schwankungen aufweist, läßt erkennen, daß die Breite einer Zementprobe proportional zu ihrer Länge schrumpft. Das Verhältnis Länge zu Breite ist 40 mm zu 6 mm, d.h. die absoluten Spaltbreiten der Länge sind um ca. 6,7fach größer als die der Breite. Entsprechend ihrer Prüfkörpergröße ist die Schrumpfung der Länge der der Breite annähernd identisch. So kann auf gleichzeitige Angabe der Spaltbreiten von den Längs- und Schmalseiten in folgenden Abbildungen verzichtet werden. Abb. 11, 12 und 13 zeigen jeweils 5 Silikat-, 5 Siliko-Phosphat- und 5 Zinkphosphatzemente in der Länge während des Abbindens in 24 h.

Es fanden sich folgende mittlere lineare Gesamtschrumpfungen in der Länge nach 24 h für die Standardkonsistenz:

Tab. 4	37 ± 1°C/95 - 100%	23 ± 2°C/55 ± 5 %
Silikatzemente	0,16 % - 0,55 %	1,45 % - 2,9 %
Siliko-Phosphat-Zemente	0,23 % - 0,42 %	1,60 % - 2,2 %
Zinkphosphatzemente	0,23 % - 0,43 %	1,70 % - 2,2 %

Es fanden sich folgende mittlere lineare Gesamtschrumpfungen in der Länge nach 24 h für die dickere Konsistenz (Standardkonsistenz + 0,2 g Pulver)

Tab. 5	37 ± 1°C/95 - 100%	23 ± 2°C/55 ± 5 %
Silikatzemente	0,13 % - 0,42 %	0,9 % - 2,4 %
Siliko-Phosphat-Zemente	0,15 % - 0,25 %	1,2 % - 1,7 %
Zinkphosphatzemente	0,16 % - 0,25 %	1,3 % - 1,76%

Es fanden sich folgende mittlere lineare Gesamtschrumpfungen in der Länge nach 24 h für die dünnere Konsistenz (Standardkonsistenz - 0,2 g Pulver)

Tab. 6	37 ± 1°C/95 - 100%	23 ± 2°C/55 ± 5 %
Silikatzemente	0,31 % - 0,77 %	1,88 % - 3,7 %
Siliko-Phosphat-Zemente	0,34 % - 0,61 %	1,97 % - 2,5 %
Zinkphosphatzemente	0,33 % - 0,56 %	2,13 % - 2,7 %

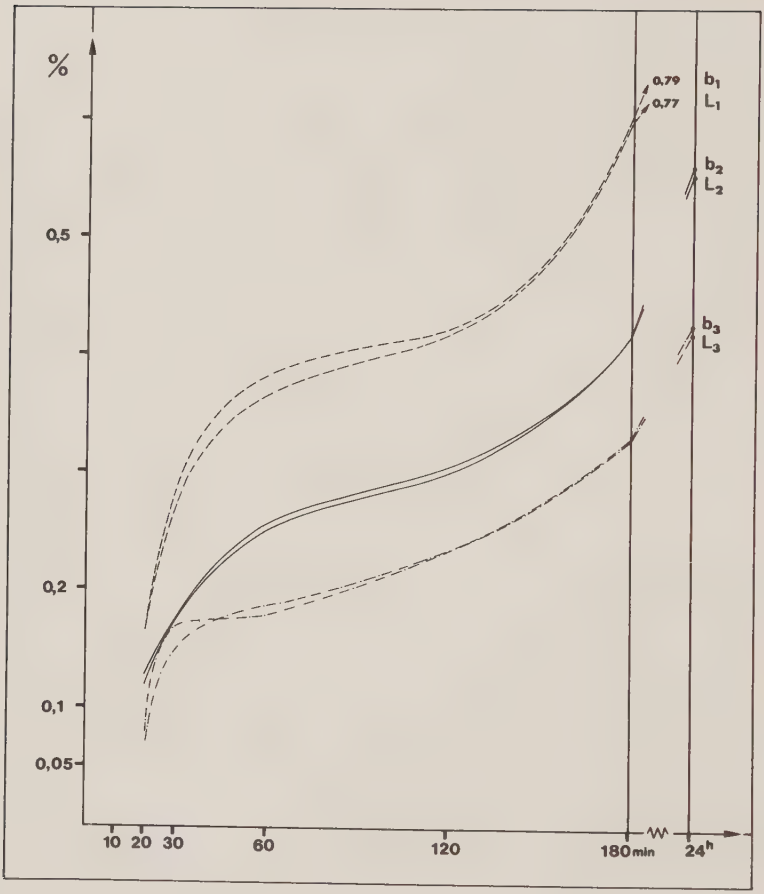


Abb. 7 Lineare Schrumpfung in % der Länge und Breite bei 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen von "Omnifil", der Zement mit der größten Spaltbildung aller 15 Zemente.
L_1 und b_1: Standardkonsistenz - 0,2 g P/0,5 ml F
L_2 und b_2: Standardkonsistenz 1,30 g P/0,5 ml F
L_3 und b_3: Standardkonsistenz + 0,2 g P/0,5 ml F

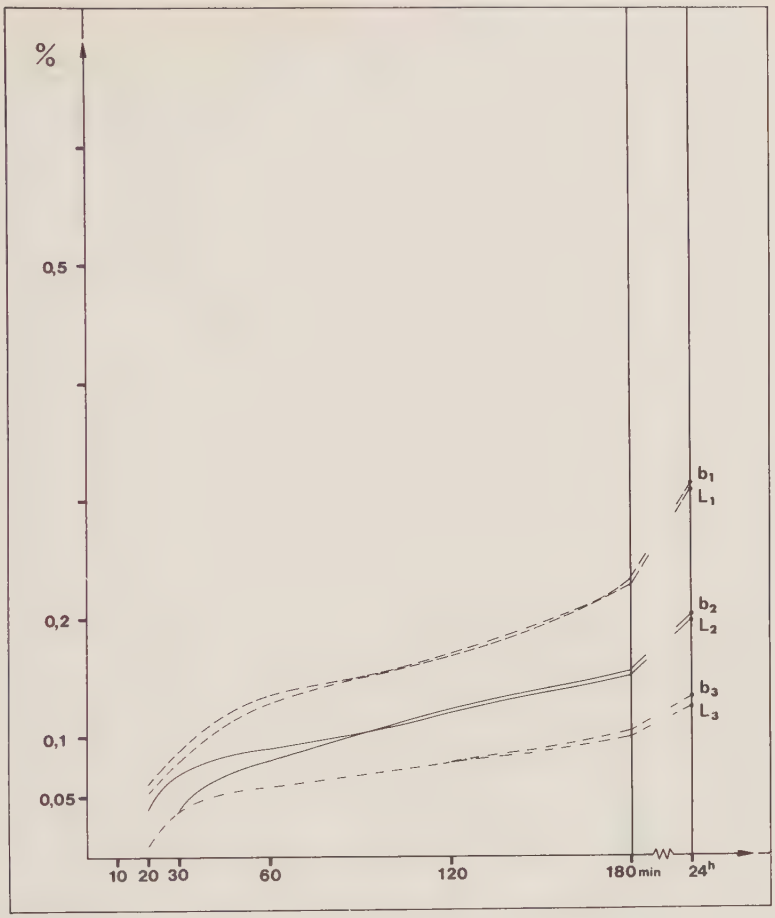


Abb. 8 Lineare Schrumpfung in % der Länge und Breite bei 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen von "Crystone", der Zement mit der geringsten Spaltbildung aller 15 Zemente.
L_1 und b_1: Standardkonsistenz - 0,2 g P/0,5 ml F
L_1 und b_2: Standardkonsistenz 1,65 g P/0,5 ml F
L_2 und b_3: Standardkonsistenz + 0,2 g P/0,5 ml F

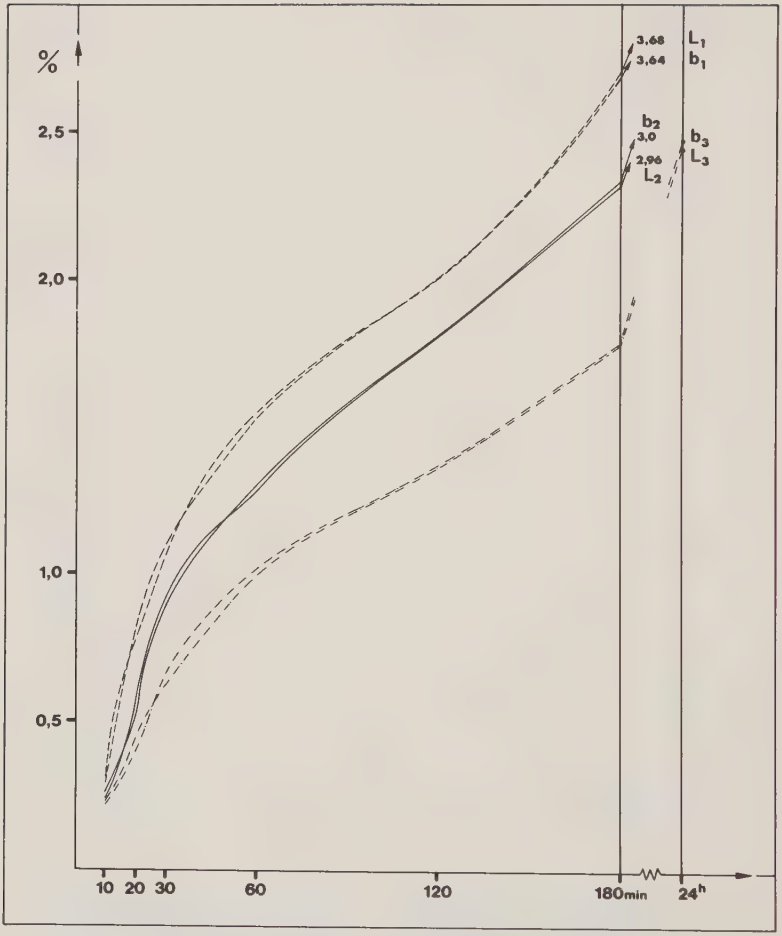


Abb. 9 Lineare Schrumpfung in % der Länge und Breite bei 23°C und 55 % relativer Luftfeuchtigkeit bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen von "Omnifil", der Zement mit der größten Spaltbildung aller 15 Zemente.
L_1 und b_1: Standardkonsistenz - 0,2 g P/0,5 ml F
L_2 und b_2: Standardkonsistenz 1,30 g P/0,5 ml F
L_3 und b_3: Standardkonsistenz + 0,2 g P/0,5 ml F

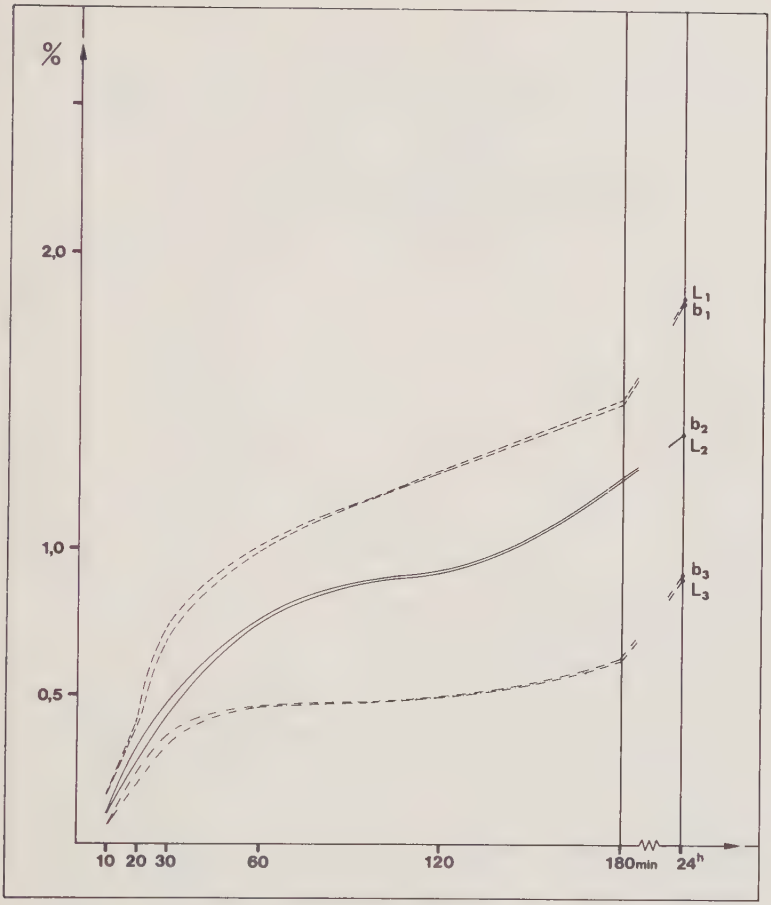


Abb. 10 Lineare Schrumpfung in der Länge und Breite bei 23°C und 55 % relativer Luftfeuchtigkeit bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen von "Crystone", der Zement mit der geringsten Spaltbildung aller 15 Zemente.
L_1 und b_1: Standardkonsistenz - 0,2 g P/0,5 ml F
L_2 und b_2: Standardkonsistenz 1,65 g P/0,5 ml F
L_3 und b_3: Standardkonsistenz + 0,2 g P/0,5 ml F

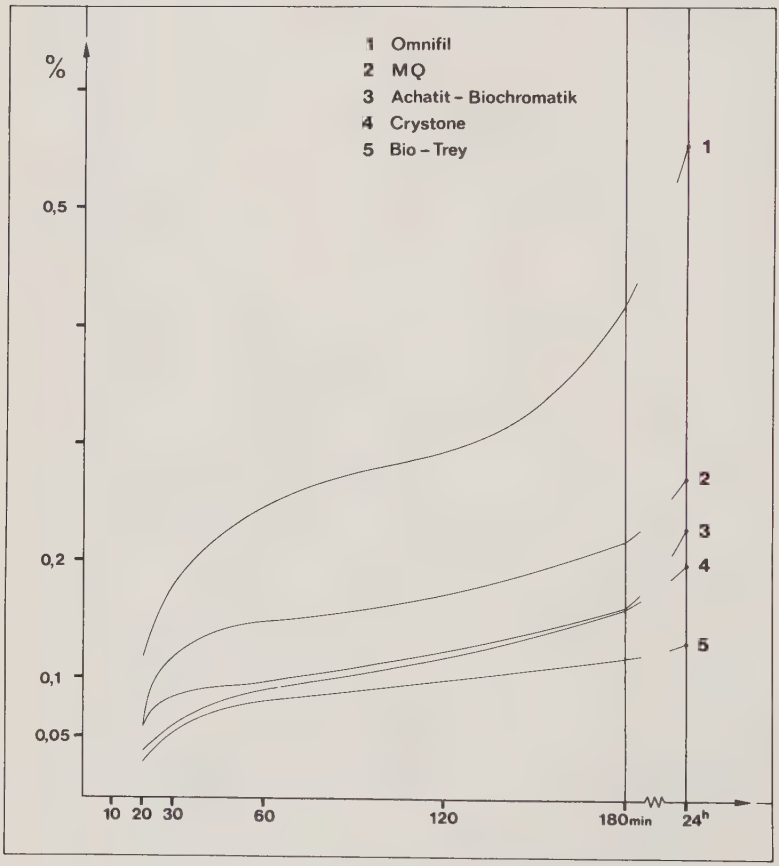


Abb. 11 Lineare Schrumpfung von 5 Silikatzementen bei Standardkonsistenz, 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit in der Länge.

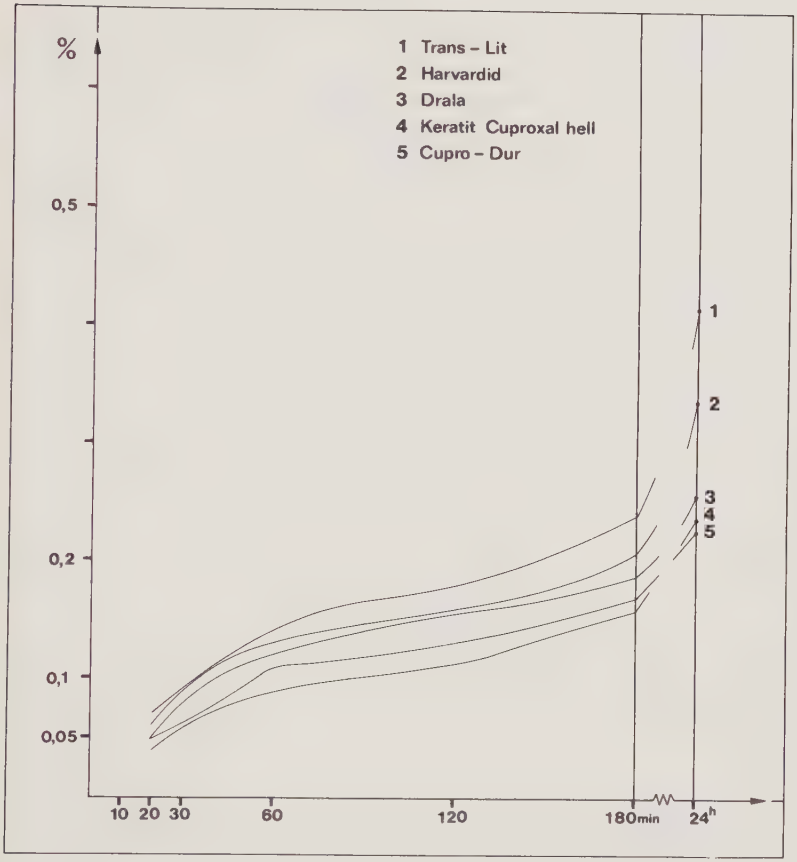


Abb. 12 Lineare Schrumpfung von 5 Siliko-Phosphat-Zementen bei Standardkonsistenz, 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit in der Länge.

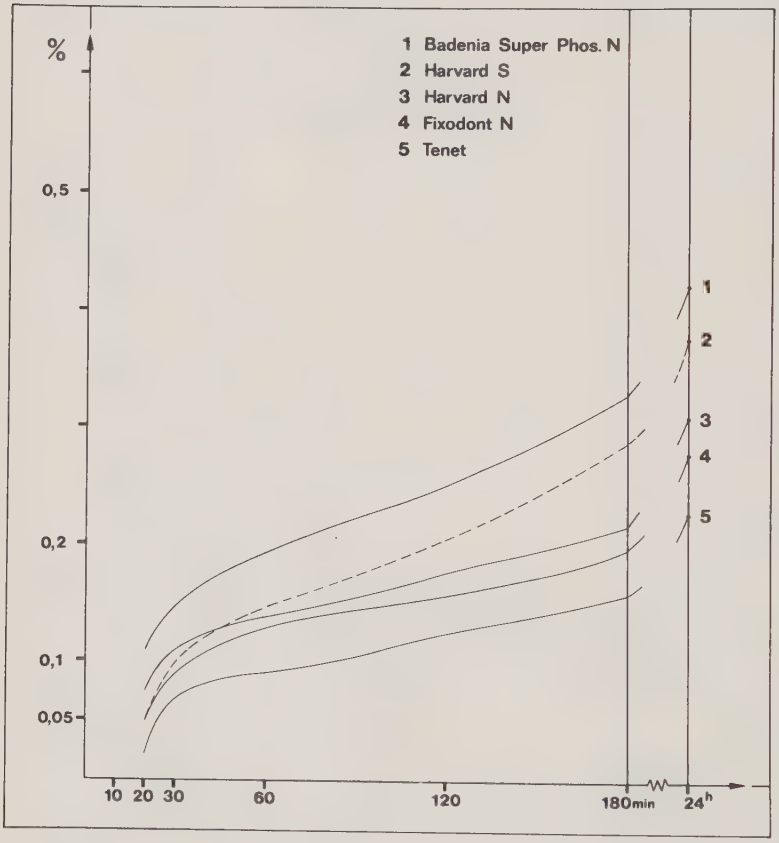


Abb. 13 Lineare Schrumpfung von 5 Zinkphosphatzementen bei Standardkonsistenz, 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit in der Länge. (Die Kurve bei Harvard S ist wegen der besseren Übersicht gestrichelt.)

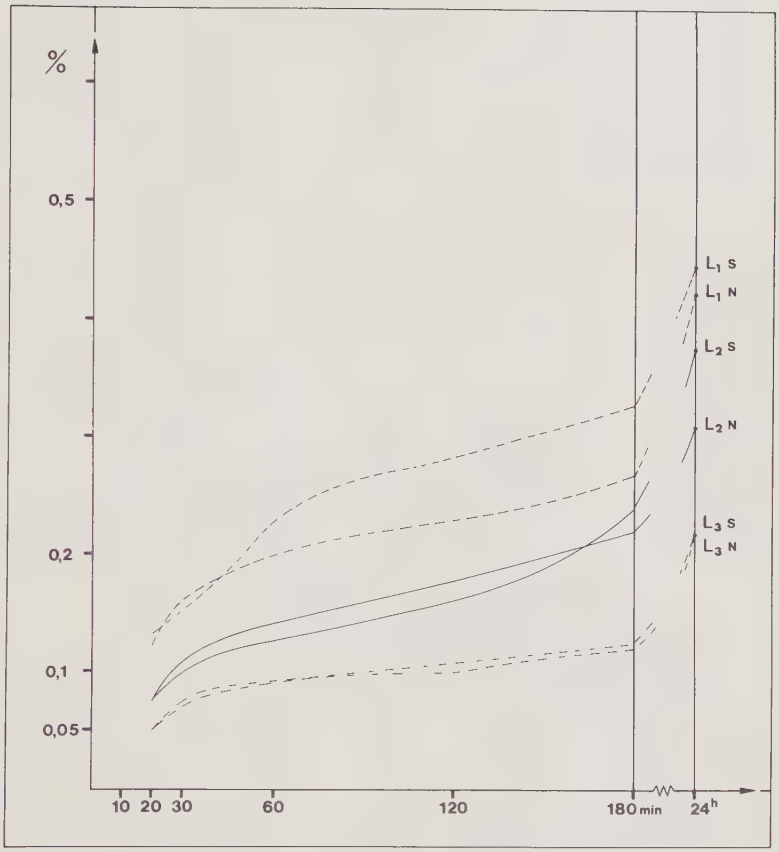


Abb. 14 Lineare Schrumpfung von Harvard N (normalhärtend) und Harvard S (schnellhärtend) bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen, 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit in der Länge.

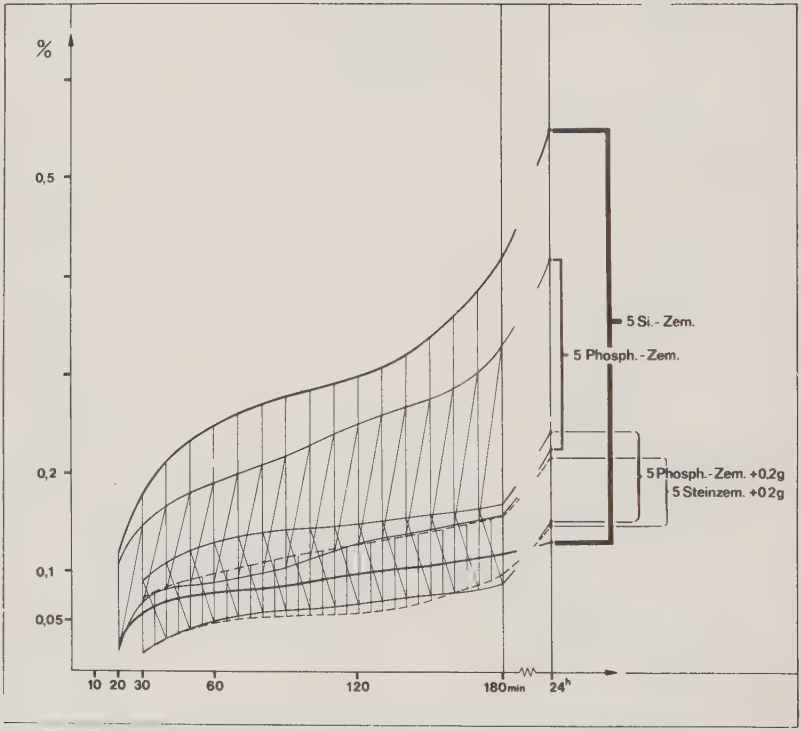


Abb. 15 Lineare Schrumpfung in der Länge bei 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit von 5 Silikat- und 5 Zinkphosphatzementen bei Standardkonsistenz, sowie 5 Siliko-Phosphat- und 5 Zinkphosphatzementen bei Standardkonsistenz + 0,2 g Pulver.

Abbildungen 16 - 51 zeigen Probenausschnitte je einer Prüfkörperseite in der Länge und Breite von je 1 Silikat-, 1 Siliko-Phosphat- und 1 Zinkphosphatzement bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen sowohl in feuchter (37°C/100 %) als auch in trockener Lagerung (23°C/55 %) nach 24 h. Die angegebenen Spaltbreiten in um sind entsprechend halbierte Mittelwerte der jeweils 6 Proben.
Die Bilder zeigen in der Länge rechts und in der Breite unterhalb des dunklen Spalts (Sp.) das Metall (M) der Prüfform und links bzw. oberhalb des dunklen Spalts den entsprechenden Zement (Z). Die folgenden Aufnahmen wurden mit 20facher Vergrößerung bei 2 1/2facher Negativvergrößerung aufgenommen, so daß jedes Bild eine 50fache Vergrößerung des Orginales darstellt. Ein Übersichtsbild einer Zementprobe in der Prüfform im Maßstab 1 : 1 zeigt Abb. 1.

Abb. 16 60 µm

1,65 g/
0,50 ml

Abb. 19 400 µm

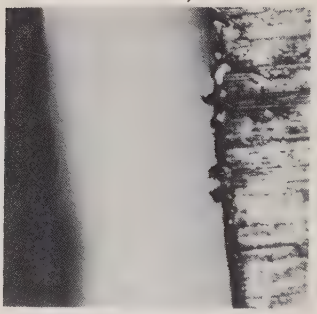
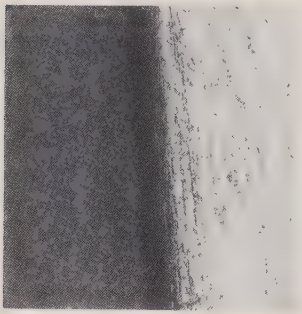


Abb. 17 40 µm



1,85 g/
0,50 ml

Abb. 20 265 µm

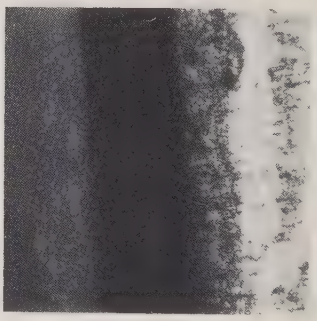
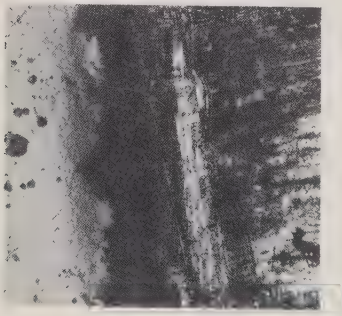
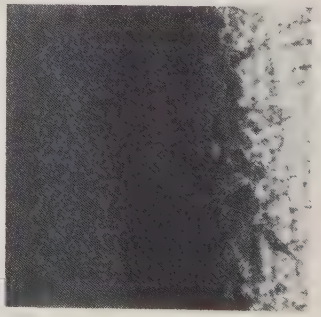


Abb. 18 25 µm



2,05 g/
0,50 ml

Abb. 21 175 µm

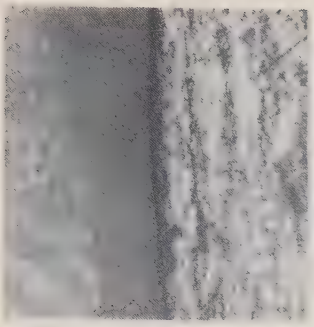


Z Sp M
37°C / 100 %

Z Sp M
23 ± 2°C/50-55%

Spaltbreiten von Achatit-Biochromatic-Silikatzement in der Länge (40 mm)

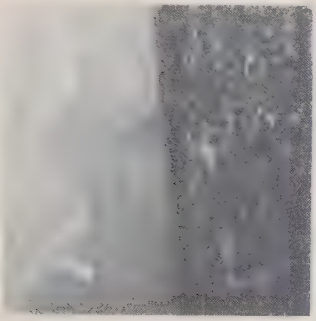
Abb. 22 10 µm



1,65 g/
0,50 ml

Abb. 25 64 µm

Abb. 23 7,5 µm



1,85 g/
0,50 ml

Abb. 26 42 µm

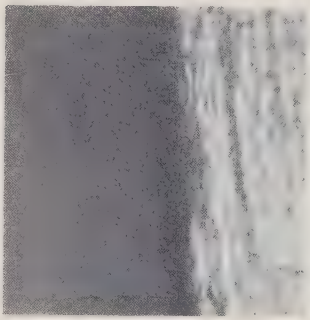
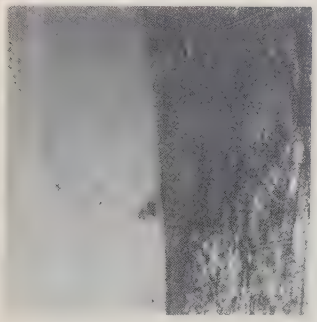
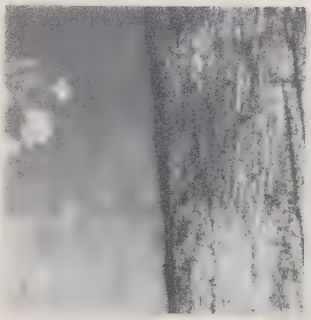


Abb. 24 5 µm



2,05 g/
0,50 ml

Abb. 27 32 µm

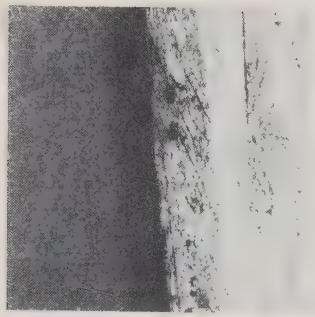


37°C / 100 %

23±2°C / 50-55 %

Spaltbreiten von Achatit-Biochromatic-Silikatzement in der Breite (6 mm)

Abb. 28 78 µm



1,55 g/
0,50 ml

Abb. 31 480 µm

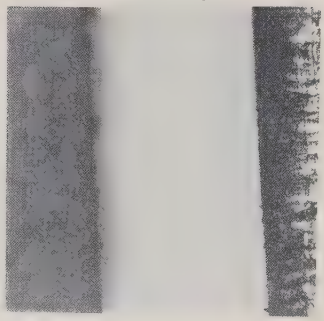
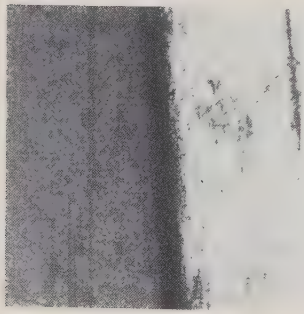


Abb. 29 52 µm



1,75 g/
0,50 ml

Abb. 32 345 µm

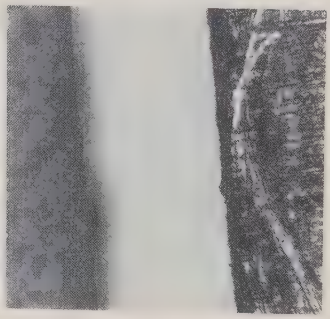
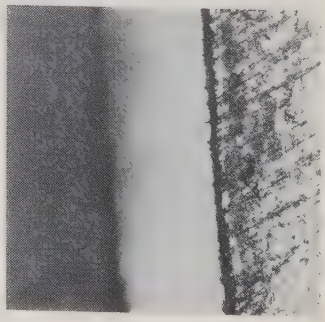


Abb. 30 38 µm

1,95 g/
0,50 ml

Abb. 33 270 µm

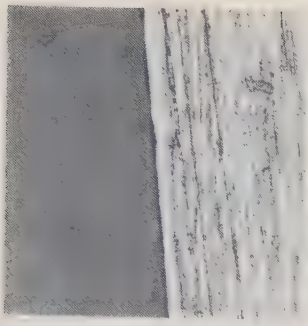


Z Sp M
37°C / 100 %

Z Sp M
23°C / 50–55 %

Spaltbreiten von Drala-Steinzement in der Länge (40 mm)

Abb. 34 11 µm



1,55 g/
0,50 ml

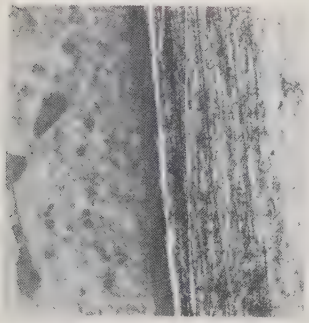
Abb. 37 65 µm

Abb. 35 75 µm

1,75 g/
0,50 ml

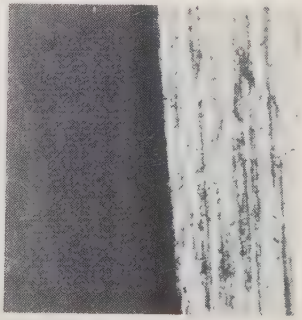
Abb. 38 49 µm

Abb. 36 65 µm



1,95 g/
0,50 ml

Abb. 39 38 µm

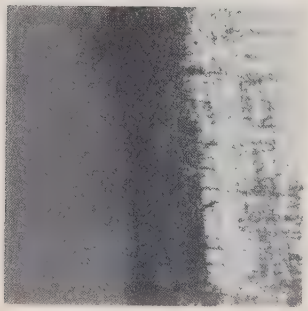


37°C / 100 %

23±2°C / 50–55 %

Spaltbreiten von Drala-Steinzement in der Breite (6 mm)

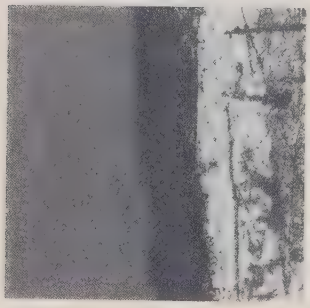
Abb. 40 70 µm



0,9 g /
0,50 ml

Abb. 43 500 µm

Abb. 41 61 µm



1,1 g /
0,50 ml

Abb. 44 375 µm

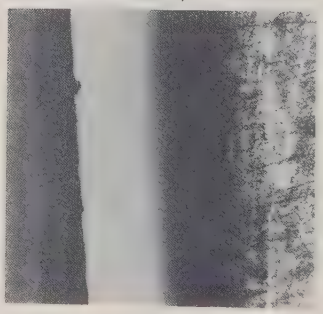
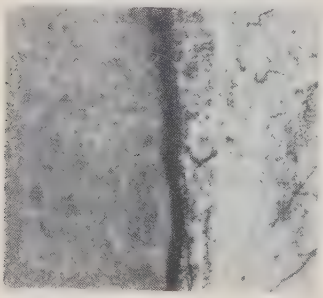
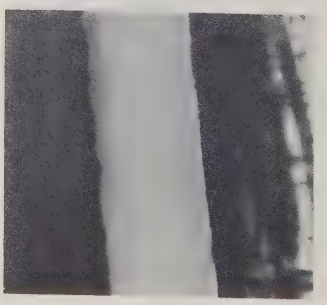


Abb. 42 40 µm



1,3 g /
0,50 ml

Abb. 45 290 µm



Z Sp M
37°C / 100 %

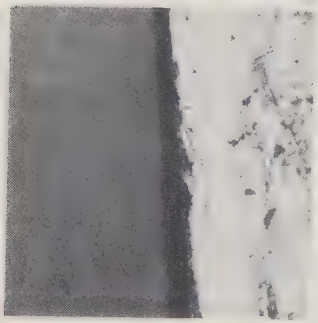
Z Sp M
23±2°C / 50–55 %

Spaltbreiten von Harvard-Zinkphosphatzement normalhärtend in der Länge (40 mm)

Abb. 46 12 µm

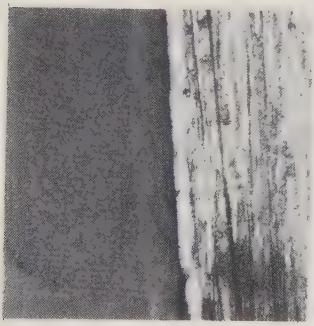
0,9 g/
0,50 ml

Abb. 47 8 µm



1,1 g/
0,50 ml

Abb. 48 6,0 µm



1,3 g/
0,50 ml

37°C / 100 %

Abb. 49 70 µm

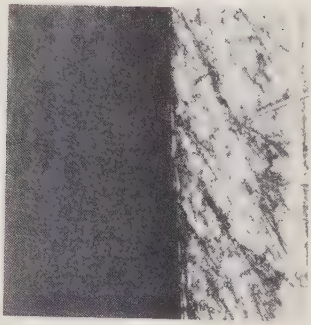


Abb. 50 59 µm

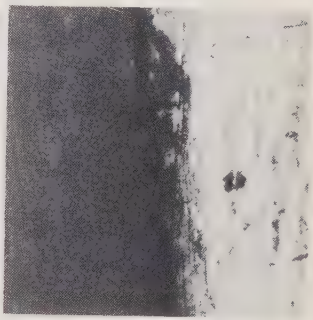
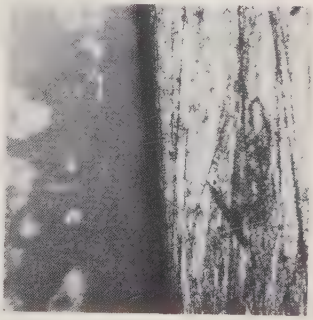


Abb. 51 44 µm



23±2°C / 50–55 %

Spaltbreiten von Harvard-Zinkphosphatzement normalhärtend in der Breite (6 mm)

2.3 Diskussion

2.3.1 Spaltbildung

Der Kurvenverlauf des Zementes mit der größten (Abb. 7 und 9) und mit der kleinsten linearen Dimensionsänderung (Abb. 8 und 10) aller Zemente in der Länge und Breite zeigt in der ersten Stunde nach Beginn des Mischens Unregelmäßigkeiten auf. Diese Schwankungen sind auf Meßungenauigkeiten der relativ geringen Anfangsspaltbreiten zwischen 5 µm und 20 µm zurückzuführen. Das benutzte Meßmikroskop der Firma Zeiss hatte bei 30facher Vergrößerung als kleinste Maßeinheit auf der Meßskala zwischen zwei Teilstrichen 20 µm, so daß hier durch das Abschätzen der Spaltbreiten kleiner als 20 µm mit dem Auge Fehler entstehen können. Ein stärker vergrößerndes Meßmikroskop hätte (z. B. durch längere Einstellzeit, stärkere Beleuchtung mit höherer Wärmeentwicklung) zu einem längeren Aufenthalt (als 1 - 1 1/2 min) der feucht gelagerten Proben in einem trockeneren Milieu geführt, das zu einer stärkeren Austrocknung und entsprechend zu größerer Kontraktion der Zementprobe geführt hätte (30).

Während der Kontraktion einer Zementprobe kommt es beim Abreißen des Zementes vom Metallrand an der Zement- und Metallkante zu Ausfransungen, die zu unscharfer Kantenbegrenzung und damit zu einer Meßungenauigkeit der Spaltbreiten von ca. 5 µm auf jeder Seite führen kann.

Das Meßverfahren dieser Arbeit unterscheidet sich u.a. in

dem von BRAUN (5), DRESSLER (11) und RÜHMCHEN (38) benutzten darin, daß die Zemente nicht in einem Kunststoffrahmen geprüft wurden, sondern in einem Metallrahmen aus Messing. Der thermische Ausdehnungskoeffizient der einzelnen Materialien muß bei einer stilisierten Füllungsgröße von 40 mm x 6 mm x 1,5 mm bei der Spaltbildung unbedingt berücksichtigt werden.

Tab. 7

Thermischer Ausdehnungskoeffizient (im Bereich von 20°C - 50 %) x 10^{-6}/°C

Kunststoff	Messing	Zemente	Zahngewebe
100	17-19	7 - 8	8 - 11

Die ungefähr 12fach stärkere thermische Ausdehnung des Kunststoffes bei 23°C - 37°C gegenüber den Zementen kann allein schon zu einer Spaltbreite von ca. 46 µm bei der entsprechenden Füllungsgröße von 40 mm führen und damit die absolute Spaltbreite durchaus verfälschen. Die thermische Größenänderung von Messing ist jedoch fünffach kleiner als die von Kunststoff und gegenüber der der Zemente nur 2-3fach größer, was bei gleicher Füllungsgröße zu einer Spaltbreite von nur ca. 6 µm führen kann.

Der thermische Ausdehnungskoeffizient der Zahnhartsubstanzen ist gegenüber dem der Zemente fast gleich groß, was bei einer 40 mm großen Füllung zu einer Spaltbreite von ca. 2 µm führen kann.

Da eine Füllung solchen Ausmaßes nicht existieren wird

(klinisch), spielt hier der thermische Ausdehnungskoeffizient bei der Spaltbildung keine Rolle.

Die gegenüber dieser Arbeit größeren Spaltbreiten von BRAUN (5), DRESSLER (11) und RÜHMCHEN (38) sind u.a. auch darauf zurückzuführen, daß die Materialproben in einem Brutschrank bei trockener Luft in 37°C aufbewahrt werden, was zu einer stärkeren Austrocknung und damit größeren Kontraktion der Zemente führt (30), als bei einer Lagerung in 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit (15, 16). So schrumpfen die Silikatzemente z. B. bei DRESSLER nach 24 h zwischen 90 µm und 360 µm gegenüber den hier gemessenen Spaltbreiten (o. Omnifil) zwischen 65 µm und 110 µm. Vergleichbares ist auch bei BRAUN (5) und RÜHMCHEN (38) zu finden.

Die von DEMMEL (9) bei imitierten Mundverhältnissen gefundenen Dimensionsänderungen bei Phosphatzementen stimmen mit den hier bei Standardkonsistenz und Standardkonsistenz + 0,2 g Pulver gefundenen Werten annähernd überein. Ebenso die von PAFFENBARGER und Mitarbeiter (34, 35) bereits 1938 gemessenen Dimensionsänderungen bei Silikat- und Zinkphosphatzementen gleichen denen in dieser Arbeit gefundenen Meßwerten bei trockener und feuchter Lagerung, wenn auch die Dimensionsänderung in feuchter Lagerung etwas größer ist. Die geringen Spaltbreitenunterschiede sind wie auch bei DEMMEL (9) aus der eingangs erwähnten unterschiedlichen Spaltenmeßtechnik zu erklären; ebenso werden andere Zemente anderer Hersteller verwendet.

Letzteres bestätigt sich auch in dieser Arbeit. So gibt es in den drei Zementarten einzelne Materialien, deren lineare

Kontraktion bei Standardkonsistenz geringer oder gleich stark ist, als bei Zementen mit einem 0,2 g stärkeren Pulveranteil. So schrumpft z.B. Zinkphosphatzement Tenet bei Standardkonsistenz um 0,02 % weniger als Badenia bei Standardkonsistenz + 0,2 g Pulver. Der Unterschied scheint wohl im Pulver zu liegen, wie DEMMEL (9) an Polyacrylatzementen im Vergleich zu Zinkphosphatzementen aufzeigen kann.
Da bei allen Zementen eine Verringerung der linearen Kontraktion eintritt, wenn der Pulveranteil der Zementmischung zunimmt, bleibt für die Praxis die Forderung, man solle den Zement der Verarbeitung entsprechend so dick wie möglich anmischen, unbedingt bestehen. Wie aus den Abb. 11 - 15 ersichtlich ist, schrumpfen alle Zemente bei Standardkonsistenz in 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit nach 24 h zwischen 0,16 % und 0,55 % linear, bei Erhöhung des Pulveranteils um 0,2 g zwischen 18 % und 49 % weniger. Die Silikatzemente schrumpfen jedoch gesamt gesehen (o. Omnifil) etwas geringer, während die Siliko-Phosphat- und Zinkphosphatzemente annähernd gleich stark schrumpfen.

Ein Vergleich der Zinkphosphatzemente Harvard N und Harvard S bei den verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen in 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit in Abb. 14 zeigt, daß Harvard N und S nur in der pulverreicheren Mischung gleich stark schrumpfen. Bei der Standardkonsistenz schrumpft Harvard N 0,06 % weniger, bei der pulverärmeren 0,02 %, was klinisch bedeutet, daß bei einer Unterfüllung bzw. einem provisorischen Verschluß einer Kavität mit der dickeren Konsistenz keine unterschiedliche Schrumpfung zwischen beiden zu erwarten ist, daß jedoch beim Zementieren von Kronen,

Brücken oder Inlays mit der Standardkonsistenz oder noch dünneren Mischung durch eine etwas längere Abbindezeit von Harvard N eine Verringerung der Schrumpfung zwischen 0,02 % - 0,06 % gegenüber Harvard S erreicht werden kann.

Eine lineare Kontraktion bei zahnärztlichen Zementen von 1 % ist nach DEMMEL (9) als ausgesprochen kritisch anzusehen, aber auch Werte von über 0,5 % (Omnifil) nach 24 h in 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit. Bei einer Zementschichtdicke von 50 µm, die nach DEMMEL (9) und DREYER-JØRGENSEN (12) als paßgenaue Zementierung anzusehen ist, würde auch eine Kontraktion von ca. 0,5 % linear (Badenia) nur ca. 0,25 µm entsprechen und bei der Rauhigkeit von Gußobjekt und Zahnstumpf keine Bedeutung haben. Jedoch kann es bei einem z.B. durch Badenia-Super-Phos-Zement wieder aufgebauten Molarenstumpf durchaus zu einer Zementschichtdicke von ca. 5 mm kommen, was bei einer linearen Kontraktion von 0,5 % zu einer Spaltbreite von 25 µm führen würde. Hohlraumbildung unter der Krone und ein Mißerfolg wären unvermeidlich.

DREYER-JØRGENSEN (12), WILSON und KENT (47) zeigen übereinstimmend, daß der Abbindeprozeß bei Silikat- und Zinkphosphatzementen bei 37°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit nach 4 h im wesentlichen abgeschlossen ist. Wie die Kurven in Abb. 1 - 15 zeigen, ist die Kontraktionszunahme der Zemente schon nach der dritten Stunde bis zu 24 h nach Mischbeginn deutlich geringer. Klinische Untersuchungen von RÜHMCHEN (38) an Steinzementen zeigen, daß die Dimensions-

änderung mit dem endgültigen Aushärten eines Zementes nicht beendet ist, sondern daß im Laufe von Monaten und Jahren infolge anderer Einflüsse wie Korrosion und Löslichkeit (1, 33) die Spaltbreite immer größer wird und sich schließlich den hier bei trockener Lagerung gefundenen Spaltbreiten zwischen 500 µm und 750 µm nach 24 h nähert. Vergleichbares hat BOCK (4) auch bei klinischen Nachuntersuchungen von Silikatzementen gefunden.

3. ZUSAMMENFASSUNG

5 Silikat-, 5 Siliko-Phosphat- und 5 Zinkphosphatzemente werden auf Spaltbildung während des Abbindens innerhalb von 24 h bei drei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen bei feuchter (37°C ± 1°C und 95 - 100 % relativer Luftfeuchtigkeit) und trockener Lagerung (23°C ± 2°C und 55 ± 5 % relativer Luftfeuchtigkeit) untersucht.

Die Prüfungen erfolgen soweit möglich nach den Vorschriften der FDI-Spezifikationen Nr. 5 für Silikat-, Silico-Phosphat- sowie Nr. 6 für Zinkphosphatzemente. Ein Silikatzement (Omnifil) und ein Zinkphosphatzement (Badenia Super Phos) erfüllen die FDI-Spezifikation Nr. 5 bzw. Nr. 6 nicht.

Die Messungen der Spaltbreiten werden an 40 x 6 mm großen Proben in einem 1,5 cm starken Messingrahmen mit einem Meßmikroskop bei 36facher Vergrößerung vorgenommen.
Von wesentlichem Einfluß auf die Dimensionsstabilität war das Mischungsverhältnis von Pulver zu Flüssigkeit, die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit.
Die Spaltbreitenmessungen ergaben sowohl in feuchter als auch trockener Lagerung bei zunehmendem Pulveranteil eine Verringerung der Kontraktionen. Alle 15 Zemente kontrahieren ungefähr 6 - 7fach stärker bei trockener Lagerung als bei feuchter Lagerung.
Die Proben schrumpfen in der Länge proportional zur Breite, so daß die Angabe einer Größe genügt.

Bei 37 ± 1°C und 95 - 100 % relativer Luftfeuchtigkeit schrumpfen klinisch bewährte Zemente bei Standardkonsistenz nach 1 h und nach 24 h.

Tab. 8	1 h	1 Tag
Silikatzemente (o. Omnifil)	0,08 % - 0,14 %	0,16 % - 0,27 %
Siliko-Phosphat-Zemente	0,09 % - 0,14 %	0,24 % - 0,42 %
Zinkphosphatzemente (o. Badenia)	0,09 % - 0,15 %	0,23 % - 0,38 %

Die Spaltbreitenuntersuchungen geben Aufschluß über den zeitlichen Verlauf und die zu erwartende Größe der Spaltbreite nach 24 h. Die Zemente werden alle unter gleichen Bedingungen geprüft, so daß sich entsprechend der Größe der Spaltbreiten ohne weiteres sagen läßt, welcher Zement besser oder schlechter geeignet ist, um eine aus dieser Hinsicht möglichst widerstandsfähige Füllung zu erhalten.

Die in den FDI-Spezifikationen empfohlene Standardkonsistenz ist eine praxisübliche Mischung, ihre Werte für Dimensionsänderung bleiben jedoch hinter dem erreichbaren Optimum zurück. Es zeigt sich, daß bei allen Zementen besonders auf ein richtiges, möglichst pulverreiches Mischungsverhältnis geachtet werden muß. Eine zu dünne teigig-tropfende Konsistenz ist in jedem Falle abzulehnen.

4. SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS

1. ABRAHAM, B. : Untersuchungen von vier Zinkphosphatzementen auf Druckfestigkeit und Löslichkeit nach der FDI-Spezifikation Nr. 6 bei verschiedenem Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis
   Med. Diss. FU Berlin 1973

2. ALBERT, H.M. : Spaltbreiten und Tiefen bei Amalgam- und Gußfüllungen
   Med. Diss. FU Berlin 1966

3. American Dental Association:
   Guide to Dental Materials
   Chicago 1966, 3. Aufl.

4. BOCK, B. : Klinische Nachuntersuchungen von Silikatzementfüllungen
   Med. Diss. FU Berlin 1968

5. BRAUN, E. : Vergleichende mechanisch-physikalische Untersuchungen von Phosphatzementen sowie deren Verhalten zu medikamentösen Einlagen
   Med. Diss. FU Berlin 1965

6. DELWS, U. : Über das Volumenverhalten der Silikatzemente mit vergleichenden Untersuchungen gemessen nach der Blasendruckmethode
   Med. Diss. FU Berlin 1954

7. DEMMEL, H.J. : Zur Prüfung zahnärztlicher Zemente nach den FDI-Spezifikationen bei veränderten Prüfkörpermaßen
   Zahnärztl. Welt 80, 329 - 332 (1971)

8. DEMMEL, H.J. : Welche Zinkphosphatzemente können dem Zahnarzt nach der FDI-Spezifikation Nr. 6 empfohlen werden?
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 1462 - 1467 (1968)

9. - , - : Untersuchungen zum Dimensionsverhalten von Polyacrylatzementen
Dtsch. zahnärztl. Z. 28, 390 - 393 (1973)

10. DOLDER, E. : Physikalische Eigenschaften des Silikatzementes und schnellhärtenden Kunststoffes
Dtsch. zahnärztl. Z. 12, 1 - 11 (1957)

11. DRESSLER, H. : Vergleichende mechanisch-physikalische Untersuchungen von 10 Silikatzementen
Med. Diss. FU Berlin 1964

12. DREYER-JØRGENSEN, K.: On the solubility of Silicate Cements
Acto odont. Scand. 21, 141 - 158 (1963)

13. EICHNER, K. : Die Silikat- und Silikophosphatzementfüllung
Dtsch. zahnärztl. Z. 20, 541 - 546 (1965)

14. - , - : Zahnärztliche Werkstoffe in klinischer Sicht
Dtsch. Zahnärztekalender S. 34 - 39 (1965)

15. - , - : Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe
2. Auflage
Berlinische Verlagsanst. (1967)

16. EICHNER, K. und Mitarbeiter : Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung
3. Auflage, Berlin 1974

17. EICHNER, K. : Werkstoffkundliche Untersuchungen und klinische Betrachtungen zur Füllungstherapie mit Zementen
Dtsch. Zahnärztekalender S. 92 - 98 (1966)

18. - , - : Optische Untersuchungen von Silikatoberflächen
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 1457 - 1461 (1968)

19. Federation Dentaire Internationale:
Spezifikation Nr. 5 für Silikatzemente
Zahnärztl. Mitt. 57, 223 - 228 (1967)

20. - , - : Spezifikation Nr. 6 für Zinkphosphatzemente
Zahnärztl. Mitt. 57, 285 - 289 (1967)

21. FRITZ, W. und KETTERL, W. : Untersuchungen über Silikatzemente mit und ohne Gitterzusatz
Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 794 - 799 (1966)

22. GERLACH, H. : Studien über Zemente als Füllungsmaterial
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 7, 143 - 145 (1937)

23. HEUSER, H. : Oberflächenmikroskopische Untersuchungen über den Randschluß von Füllungen
Stoma 1948 S. 5 - 9 und Stoma 1949 S. 16 - 27

24. KETTERL, W. : Die Silikatzementfüllung heute
Zahnärztl. Praxis 12, 157 - 169 (1961)

25. - , - : Über Zinkphosphatzemente
Zahnärztl. Praxis 17, 1 - 6 (1966)

26. KNAPPWOST, A. : Kapilläre Spaltbildungen unserer plastischen Füllungsmaterialien als Ursachen der hohen Sekundarkaries
Dtsch. zahnärzt. Z. 11, 602 - 610 (1951)

27. - , - : Eigenschaften und Aufbau von Gitterwerkstoffen
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 313 - 324 (1954)

28. KOMRSKA, I. und SATARA, V. : Die chemischen Prozesse bei der Abbindung von Zinkphosphatzementen
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 914 - 921 (1970)

29. KÖNIG, H. : Untersuchungen über verschiedene Faktoren im Verhalten der Silikatzemente
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 10, 218 - 221 (1937)

30. KÖRBER, K.H. u. MOTSCH, A. : Dehydrative-reversible Volumenänderung plastischer Frontzahnfüllmaterialien
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 493 - 501 (1961)

31. KRÄMER, L. : Überblick über die Entwicklung der gebräuchlichen Füllungsmaterialien und -methoden in der Zahnheilkunde
Med. Diss. FU Berlin 1964

32. LINKE, F. : Über die Raumbeständigkeit der Füllungszemente

Med. Diss. Leipzig 1936

33. MEYER, E. : Untersuchungen von vier Silikatzementen auf Druckfestigkeit und Löslichkeit nach der FDI-Spezifikation Nr. 5 bei verschiedenem Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis

Med. Diss. FU Berlin 1969

34. PAFFENBARGER, G.C., SCHOONOVER, I.C. und SOUDER, W. : Dental Silicate Cements: Physical and chemical Properties and a Specification

J. Amer. Dent. Ass. 25, 32 - 87 (1938)

35. PAFFENBARGER , G.C., SWEENY, W.T. und ISAACS, A. : Zinkphosphate cements: physical properties and a specification

J. Amer. Dent. Ass. 21, 1907 - 1937 (1934)

36. PEYTON, F.A. : Restorative dental materials

Saint Louis 1968

37. PROELL, F. : Nachträgliches über Silikatzemente

Dtsch. Mschr. Zahnhk. 3, 57 - 59 (1925)

38. RÜHMCHEN, R. : Mechanisch-physikalische Untersuchungen von 12 Steinzementen auf Härte, Kantenfestigkeit und Volumenkonstanz sowie klinische Nachuntersuchungen von Steinzementfüllungen in bezug auf Spaltbildung

Med. Diss. FU Berlin 1965

39. SACHS. L. : Statistische Auswertmethoden
Berlin - Heidelberg 1971

40. VIOHL, J. : Die FDI-Spezifikationen - erprobte Prüfungsvorschriften
Zahnärztl. Rdsch. 76, 193 - 197 (1967)

41. - , - : 13 deutsche Silikatzemente, untersucht nach der FDI-Spezifikation Nr. 5
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 307 - 312 (1967)

42. - , - : Welche Silikatzemente können dem Zahnarzt nach der FDI-Spezifikation Nr. 5 empfohlen werden?
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 224 - 228 (1968)

43. - , - : Labortestmethoden und FDI-Spezifikationen
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 290 - 297 (1971)

44. WEIKART, P. : Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe
Dtsch. zahnärztl. Z. 4, 1550 - 1554 (1949)

45. WELKER, D. : Einfluß der maschinellen Verarbeitungsweise auf die Werkstoffe Silikatzement und Phosphatzement
Dtsch. Stomat. 18, 557 - 564 (1968)

46. - , - : Vergleichende werkstoffkundliche Prüfungen an EBA-Zementen und Zinkphosphatzementen
Dtsch. Stomat. 20, 762 - 769 (1970)

47. WILSON, A.D. und KENT, BE : Dental silicate cements X. The precipitations reaction
J. dent. Rest. 49, 21 (1970)

48. De WIJN, J.R.: Einfluß des Mischungsverhältnisses von Pulver zu Flüssigkeit auf einige Eigenschaften von Zinkphosphatzement und Polykaboxylatzement

Dtsch. zahnärztl. Z. 28, 665 - 670 (1973)

5. Tabellenanhang

Spaltbildung in µm von 5 Silikat-, 5 Phosphat-, 5 Steinzementen nach 10 min, 20 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h und 24 h bei verschiedenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnissen bei

a) 37 ± 1°C und 100 % relativer Luftfeuchtigkeit und

b) 23 ± 2°C und 55 ± 5 % relativer Luftfeuchtigkeit

Die angegebenen Werte sind Gesamtmittelwerte von jeweils sechs Proben in Länge und Breite.

$\bar{x}$ = mittlere Gesamtspaltbreite, s = Standardabweichung, V = Variationskoeffizient.

	Länge							Freite						
	37°C / 100%			23°C / 55%				37°C / 100%			23°C / 55%			
	$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	2,1g/0,50 ml	$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
	–	–	–	44,2	3,8	0,09	10 min	–	–	–	7,5	2,7	0,36	
	–	–	–	100,0	7,1	0,06	20	–	–	–	16,5	1,9	0,12	
	22,5	1,4	0,06	153,6	4,6	0,03	30	–	–	–	24,2	2,1	0,06	
	33,8	2,1	0,06	250,6	8,8	0,03	60	5,0	0,0	–	43,0	3,5	0,08	
	45,8	2,6	0,06	336,3	9,8	0,04	120	6,7	2,6	0,40	50,7	1,1	0,02	
	58,8	4,8	0,08	407,1	9,2	0,02	180 min	7,5	2,7	0,36	62,5	2,7	0,04	
	77,5	3,2	0,04	539,7	12,9	0,02	24 h	10,0	0,0	–	82,3	4,9	0,06	
							1,9g/0,50 ml							
	$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
	–	–	–	62,5	7,6	0,12	10 min	–	–	–	10,0	0,0	–	
	27,9	2,5	0,03	129,2	8,0	0,06	20	–	–	–	22,2	2,0	0,09	
	49,2	3,4	0,07	234,2	10,0	0,03	30	8,3	2,6	0,31	35 ,7	4,3	0,12	
	61,7	3,0	0,05	338,4	14,7	0,04	60	10,0	0,0	–	45,8	3,4	0,09	
	74,2	2,0	0,05	453,8	8,6	0,02	120	10,0	0,0	–	67.0	4,5	0,07	
	87,1	4,0	0,06	565.0	10,0	0,02	180 min	13,3	2,6	0,20	83,3	3,8	0,05	
	109,6	7,0	0,03	692,9	16,6	0,02	24 h	15,8	2,1	0,13	99,1	7,3	0,07	
							1,7g/0,50 ml							
	$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
	–	–	–	73,4	5,0	0,07	10 min	–	–	–	11,0	2,0	0,18	
	37,0	3,3	0,10	150,0	6,5	0,04	20	5,0	0,0	–	23,9	2,7	0,12	
	55,0	4,0	0,07	280,0	6,7	0,02	30	9,2	2,0	0,22	45,3	3,2	0,07	
	72,1	2,5	0,03	417,5	12,2	0,03	60	10,8	2,1	0,19	63,7	4,3	0,07	
	95,4	3,0	0,03	582,5	10,9	0,02	120	15,0	0,0	–	86,7	8,2	0,09	
	115,8	2,0	0,02	727,1	15,8	0,02	180 min	17,5	2,7	0,18	110,0	6,3	0,06	
	159,3	4,6	0,03	865,8	17,4	0,02	24 h	23,4	2,6	0,10	131,3	6,7	0,05	

Tabelle 9 MQ

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			1,50g/0,50 ml	37°C / 100%			23°C / 55%		
$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V		$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V
-	-	-	83,0	5,6	0,07	10 min	-	-	-	15,0	-	-
29,2	3,8	0,13	157,9	11,2	0,07	20	5,0	-	-	25,9	2,3	0,09
58,3	2,6	0,04	267,5	17,8	0,07	30	10,0	-	-	38,1	4,9	0,13
76,7	1,3	0,02	431,7	23,4	0,05	60	10,8	2,0	0,20	56,2	4,2	0,07
93,0	4,9	0,05	550,0	14,7	0,03	120	14,2	2,0	0,14	72,7	7,7	0,11
129,2	4,4	0,03	714,2	15,0	0,02	180 min	21,0	2,0	0,10	100,7	2,3	0,02
164,2	3,4	0,02	961,7	22,1	0,02	24 h	26,0	2,0	0,08	152,0	7,0	0,05
						1,30g/0,50 ml						
$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V		X	s	V	$\bar{X}$	s	V
-	-	-	95,8	5,9	0,06	10 min	-	-	-	15,8	2,0	0,13
47,9	2,9	0,06	218,0	13,4	0,06	20	8,3	2,6	0,3	31,0	3,8	0,12
65,8	3,4	0,05	363,3	10,4	0,03	30	10,0	-	-	57,5	4,2	0,07
95,4	6,4	0,06	520,0	14,1	0,03	60	16,7	2,6	0,16	77,0	4,0	0,05
119,2	2,0	0,02	726,7	20,0	0,03	120	18,3	2,6	0,14	104,7	7,3	0,07
168,4	6,5	0,04	937,5	42,2	0,05	180 min	25,0	-	-	138,7	6,4	0,05
214,2	6,4	0,03	1184,0	37,2	0,03	24 h	34,2	2,0	0,06	186,7	5,2	0,03
						1,10g/0,50 ml						
X	s	V	$\bar{X}$	s	V		X	s	V	$\bar{X}$	s	V
-	-	-	135,8	15,9	0,16	10 min	-	-	-	20,0	-	-
69,6	6,8	0,10	319,2	12,8	0,07	20	10,0	-	-	45,0	5,4	0,08
110,0	6,0	0,05	394,2	26,5	0,07	30	17,5	2,8	0,16	60,8	4,9	0,08
143,3	3,4	0,02	610,0	20,0	0,03	60	23,3	2,6	0,11	93,3	4,1	0,03
177,5	4,2	0,02	833,3	25,0	0,03	120	31,7	2,6	0,08	125,8	3,8	0,03
235,4	4,3	0,02	1089,0	26,9	0,02	180 min	36,7	2,4	0,07	160,0	5,5	0,03
297,9	5,8	0,02	1472,0	21,9	0,01	24 h	47,5	2,7	0,06	224,0	5,5	0,02

Tabelle 14 Omnifil

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			1,85g/0,5o ml	37°C / 100%			23°C / 55%			
X	s	V	X	s	V		X	s	V	X	s	V	
-	-	-	25,8	4,9	o,2o	1o min	-	-	-	3,3	4,1	o,45	
5,o	-	-	97,2	8,o	o,o9	2o	-	-	-	14,2	2,o	o,23	
14,2	1,3	o,o9	135,1	1o,2	o,o8	3o	-	-	-	21,7	2,6	o,12	
23,7	1,4	o,o6	182,5	7,6	o,o4	6o	-	-	-	27,5	4,2	o,15	
33,3	5,o	o,15	2o4,2	12,o	o,o6	12o	5,o	-	-	31,3	3,8	o,12	
41,3	2,6	o,o6	245,8	12,8	o,o5	18o min	6,7	2,6	o,4o	39,3	2,o	o,o5	
53,o	3,3	o,o6	361,o	13,6	o,o4	24 h	8,3	2,6	o,31	54,6	3,3	o,o6	
X	s	V	X	s	V	1,65g/o,5o ml	X	s	V	X	s	V	
-	-	-	41,o	4,9	o,12	1o min	-	-	-	6,1	2,o	o,33	
15,4	4,o	o,26	121,o	9,7	o,o8	2o	-	-	-	19,2	2,o	o,1o	
25,o	3,2	o,13	215,8	16,9	o,o8	3o	2,5	2,7	o,45	31,o	4,9	o,16	
34,2	2,o	o,o6	3o6,o	19,1	o,o6	6o	5,o	-	-	47,4	2,7	o,o6	
45,8	3,8	o,o8	368,o	11,9	o,o3	12o	8,1	2,o	o,24	59,2	3,8	o,o6	
52,8	1,9	o,o4	481,7	9,8	o,o2	18o min	1o,o	-	-	76,2	7,4	o,1o	
71,o	5,9	o,o8	556,o	15,o	o,o3	24 h	12,8	2,3	o,18	83,4	4,1	o,o5	
X	s	V	X	s	V	1,45g/o,5oml	X	s	V	X	s	V	
-	-	-	55,o	4,5	o,o8	1o min	-	-	-	9,2	2,o	o,22	
26,o	4,1	o,16	149,o	9,2	o,o6	2o	4,2	2,o	o,22	25,o	3,2	o,13	
33,4	3,8	o,1o	256,o	11,8	o,o4	3o	5,o	-	-	44,2	3,8	o,o9	
51,3	3,8	o,o7	377,o	12,1	o,o3	6o	9,1	1,3	o,14	61,o	2,o	o,o3	
69,2	3,4	o,o5	515,o	17,8	o,o3	12o	1o,o	-	-	75,8	2,o	o,o3	
91,7	4,7	o,o5	585,o	14,8	o,o3	18o min	14,8	o,6	o,o4	92,o	4,9	o,o5	
122,5	7,1	o,o2	75o,o	17,4	o,o2	24 h	2o,o	-	-	112,2	9,7	o,o9	

Tabelle 11: Crystone

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			1,90g/0,50 ml	37°C / 100%			23°C / 55%		
$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V		$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V
–	–	–	32,5	4,2	0,10	10 min	–	–	–	5,0	–	–
10,0	–	–	65,8	4,9	0,07	20	–	–	–	10,0	–	–
12,5	2,7	0,20	127,5	12,9	0,10	30	–	–	–	19,2	2,0	0,10
23,8	3,5	0,15	208,3	19,7	0,09	60	1,7	2,6	1,5	29,2	3,8	0,13
31,0	2,6	0,08	261,7	16,4	0,06	120	5,0	–	–	40,0	–	–
35,4	3,7	0,08	310,0	17,9	0,06	180 min	5,0	–	–	50,0	–	–
53,4	2,6	0,05	434,2	12,4	0,03	24 h	9,5	0,8	0,08	66,7	2,6	0,04
$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V	1,70g/0,50 ml	$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V
–	–	–	41,7	6,8	0,16	10 min	–	–	–	6,7	2,6	0,02
13,8	2,1	0,15	118,3	7,5	0,06	20	–	–	–	16,9	2,5	0,14
22,9	1,9	0,08	225,8	16,9	0,07	30	4,2	2,0	0,50	31,7	2,6	0,08
32,1	3,7	0,12	273,5	12,7	0,05	60	5,0	–	–	43,6	2,9	0,07
40,4	4,0	0,09	351,7	9,3	0,03	120	8,3	2,6	0,31	53,1	2,5	0,05
47,9	2,5	0,05	490,0	13,8	0,03	180 min	10,0	–	–	71,4	2,2	0,03
65,4	4,3	0,07	654,2	13,9	0,02	24 h	10,0	–	–	102,2	4,0	0,04
$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V	1,50g/0,50 ml	$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V
–	–	–	63,4	4,1	0,06	10 min	–	–	–	10,0	–	–
22,9	3,3	0,14	160,0	14,1	0,10	20	2,5	2,7	0,23	24,4	2,3	0,09
34,3	5,3	0,16	255.0	11,9	0,05	30	5,0	–	–	37,3	2,5	0,07
47,1	7,5	0,16	347,5	11,7	0,03	60	8,3	2,6	0,30	49,2	2,0	0,04
69,2	7,4	0,10	544,2	16,6	0,03	120	10,0	–	–	81,7	2,6	0,03
90,4	8,7	0,10	675,8	24,4	0,04	180 min	14,2	1,4	0,10	105,8	4,9	0,05
126,3	8,5	0,07	875,0	18,4	0,02	24 h	20,0	–	–	135,8	3,8	0,03

Tabelle 12: Bio-Trey

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			2,05g/0,50 ml	37°C / 100%			23°C / 55%			
X	s	V	X	s	V		X	s	V	X	s	V	
–	–	–	43,4	4,1	0,09	10 min	–	–	–	6,1	2,0	0,30	
7,5	2,7	0,26	73,4	4,1	0,06	20	–	–	–	12.0	2.4	0,20	
17,5	2,2	0,13	120,8	7,4	0,06	30	–	–	–	19,7	0,7	0.04	
22,1	3,3	0,15	220,8	12,4	0,06	60	–	–	–	30,0	–	–	
28,4	2,6	0,09	238,3	16,0	0,07	120	4,8	0,5	0,10	32,7	2,5	0,08	
37,9	1,9	0,05	286,7	22,5	0,08	180 min	5,3	0,7	0,13	44,8	4,3	0,07	
57,1	2,5	0,04	403,4	17,5	0,04	24 h	10,0	–	–	63,3	4,1	0,06	
						1,85g/0,50 ml							
X	s	V	X	s	V		X	s	V	X	s	V	
–	–	–	63,3	4,1	0,06	10 min	–	–	–	10,0	–	–	
20,1	4,0	0,18	122,5	8,8	0,07	20	3,9	2,0	0,5	20,0	–	–	
31,3	4,9	0,16	190,8	10,7	0,06	30	5,0	–	–	29,2	2,0	0,07	
41,3	3,1	0,08	276,7	12,9	0,05	60	5,8	2,0	0,30	41,7	3,8	0,09	
52,5	4,2	0,08	349,2	17,7	0,05	120	7,5	2,7	0,40	53,0	3,7	0,07	
64,6	2,9	0,04	440,0	21,7	0,05	180 min	10,0	–	–	65,9	3,4	0,05	
82,5	3,2	0,04	591,7	12,9	0,02	24 h	15,0	–	–	85,8	11,1	0,13	
						1,65g/0,50 ml							
X	s	V	X	s	V		X	s	V	X	s	V	
–	–	–	97,5	4,2	0,04	10 min	–	–	–	15,8	0,7	0,25	
25,8	3,4	0,13	174,2	7,4	0,04	20	5,0	–	–	24,7	1,7	0,07	
35,8	3,0	0,08	262,5	10,4	0,04	30	5,0	–	–	38,3	2,6	0,07	
55,8	5,8	0,10	406,7	23,4	0,06	60	8,6	2,4	0,30	60,0	4,5	0,08	
72,1	4,3	0,06	554,2	13,2	0,02	120	11,4	2,2	0,20	85,0	4,5	0,05	
91,7	4,4	0,05	710,0	18,2	0,03	180 min	15,0	–	–	108,3	6,1	0,06	
127,1	3,3	0,03	859,2	26,2	0,03	24 h	20,0	–	–	130,8	5,8	0,04	

Tabelle13: Achatit-Biochromatic

Länge							Breite						
37°C / 1oo%			23°C / 55%			1,95g/o,5o ml	37°C / 1oo%			23°C / 55%			
X	s	V	X	s	V		$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V	
–	–	–	–	–	–	1o min	–	–	–	–	–	–	
2o,o	–	–	82,5	9,4	o,11	2o	5,8	2,o	o,3o	13,3	2,6	o,2o	
3o,8	2,1	o,o7	146,3	9,5	o,o6	3o	6,7	2,6	o,4o	2o,6	4,3	o,21	
4o,8	2,o	o,2o	249,2	12,o	o,o5	6o	7,5	2,7	o,36	36,2	3,5	o,1o	
51,2	4,4	o,o9	38o,o	12,3	o,o3	12o	8,6	2,2	o,26	55,o	3,3	o,o6	
63,8	3,8	o,o6	522,5	21,9	o,o2	18o min	1o,o	–	–	74,6	1,o	o,o1	
87,1	4,6	o,o5	7oo.o	22,3	o,o3	24 h	13,1	2,2	o,3o	1o5,3	11,o	o,1o	
						1,75g/o,5o ml							
X	s	V	X	s	V		$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V	
–	–	–	52,5	6,9	o,13	1o min	–	–	–	9,2	2,o	o,2o	
29,6	2,5	o,o8	138,4	6,8	o,o5	2o	5,o	–	–	2o,o	–	–	
36,3	3,8	o,1o	246,3	9,5	o,o6	3o	6,7	2,6	o,4o	36,2	3,5	o,1[illegible]	
56,3	4,1	o,o7	349,2	12,o	o,o5	6o	1o,o	–	–	52,2	4,4	o,o8	
73,8	3,8	o,o5	54o,o	17,o	o,o3	12o	1o,8	2,o	o,2o	79,9	5,9	o,o7	
94,2	5,6	o,o6	7oo,o	26,2	o,o4	18o min	15,o	2,1	o,14	1o5,5	8,6	o,o8	
169,6	6,o	o,o4	86o,o	22,8	o,o3	24 h	24,5	2,3	o,o9	132,5	2,5	o,o[illegible]	
						1,55g/o,5o ml							
X	s	V	X	s	V		$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V	
–	–	–	82,1	11,5	o,13	1o min	–	–	–	12,5	2,7	o,[illegible]2	
26,7	2,6	o,1o	154,6	9,8	o,o6	2o	4,2	2,o	o,5o	23,6	2,9	o,12	
43,3	6,1	o,14	327,5	8,2	o,o3	3o	6,7	2,6	o,4o	51,2	1,4	o,o3	
81,7	6,8	o,o8	465,8	12,o	o,o3	6o	15,o	–	–	67,7	4,5	o,o7	
12o,o	6,5	o,o5	648,8	11,o	o,o2	12o	19,7	o,7	o,o4	94,5	4,[illegible]	o,o5	
15o,o	3,2	o,o2	785,4	29,2	o,o4	18o min	24,7	o,7	o,o3	121,1	7,1	o,o6	
244,2	8,6	o,o4	1o21,o	231,o	o,o2	24 h	39,2	2,3	o,o6	147,5	6,9	o,o5	

Tabelle14 : Trans-Lit

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			1,95g/o,5o ml	37°C / 100%			23°C / 55%			
$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V		$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V	
–	–	–	–	–	–	1o min	–	–	–	–	–	–	
1o,o	–	–	59,2	5,8	o,1o	2o	–	–	–	9,2	2,o	o,15	
2o,o	–	–	95,4	6,4	o,o6	3o	5,o	–	–	15,3	o,7	o,o1	
28,3	2,6	o,o9	172,5	1o,4	o,o6	6o	5,o	–	–	26,1	2,o	o,o8	
4o,o	2,5	o,o6	293,7	9,5	o,o3	12o	6,4	1,9	o,3o	54,1	2,1	o,o5	
5o,o	–	–	4o8,3	29,3	o,o7	18o min	8,9	2,o	o,22	61,7	3,1	o,o5	
79,6	5,3	o,o7	561,7	13,6	o,o2	24 h	13,6	1,3	o,o9	84,2	3,3	o,o5	
						1,75g/o,5o ml							
$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V		$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V	
–	–	–	–	–	–	1o min	–	–	–	–	–	–	
19,2	2,o	o,1o	94,2	9,2	o,1o	2o	–	–	–	15,o	–	–	
3o,o	3,2	o,1o	172,5	11,2	o,o7	3o	5,o	–	–	25,9	2,o	o,o8	
48,8	2,1	o,o4	28o,8	7,4	o,o3	6o	9,5	4,3	o,5o	46,7	2,7	o,o6	
64,2	3,4	o,o5	424,3	8,o	o,o2	12o	11,5	3,1	o,39	65,6	3,9	o,o6	
75,o	5,5	o,o7	537,1	13,o	o,o2	18o min	12,8	3,1	o,24	82,5	3,3	o,o4	
1o3,4	1o,5	o,1o	741,1	13,4	o,o2	24 h	15,o	1,1	o,o7	111,7	4,1	o,o4	
						1,55g/o,5o ml							
$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V		$\bar{X}$	s	V	$\bar{X}$	s	V	
–	–	–	73,3	1o,8	o,o7	1o min	–	–	–	11,9	2,5	o,21	
28,3	2,6	o,o9	145,4	9,7	o,o7	2o	5,o	–	–	2o,8	2,o	o,1o	
46,3	5,4	o,12	263,3	8,3	o,o3	3o	7,3	2,3	o,3o	4o,8	2,o	o,o5	
65,8	5,2	o,o8	365,o	9,o	o,o2	6o	1o,o	–	–	49,9	2,7	o,o5	
85,4	4,6	o,o5	51o,o	15,2	o,o3	12o	15,o	–	–	75,o	4,5	o,o6	
117,4	11,o	o,o9	676,7	12,6	o,o2	18o min	18,3	2,6	o,14	99,3	3,4	o,o3	
163,3	9,8	o,o6	871,7	17,5	o,o2	24 h	21,9	3,6	o,16	132,5	2,7	o,o2	

Tabelle15: Drala

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			2,0g/0,5o ml	37°C / 100%			23°C / 55%			
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
–	–	–	42,5	5,2	o,1o	1o min	–	–	–	5,8	2,o	o,3o	
–	–	–	72,1	8,4	o,1o	2o	–	–	–	1o,o	o,o	–	
1o,o	o,o	–	82,4	7,1	o,o9	3o	–	–	–	12,5	1,8	o,21	
18,8	2,1	o,1o	117,o	11,o	o,o8	6o	–	–	–	16,9	2,5	o,15	
22,8	2,2	o,1o	228,3	12,9	o,o6	12o	–	–	–	3o,3	4,2	o,14	
32,5	3,2	o,1o	3o2,5	7,6	o,o3	18o min	5,o	o,o	–	5o,o	o,o	–	
6o,8	6,7	o,1o	463,3	18,6	o,o4	24 h	1o,o	o,o	–	69,7	2,o	o,12	
						1,8g/o,5o ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
–	–	–	–	–	–	1o min	–	–	–	–	–	–	
1o,o	o,o	–	72,5	5,2	o,1o	2o	5,o	o,o	–	15,8	2,o	o,3o	
25,8	2,o	o,o8	128,7	1o,2	o,o8	3o	5,8	2,o	o,3o	18,9	2,o	o,1o	
42,1	5,1	o,12	24o,8	15,6	o,o7	6o	8,6	2,1	o,3o	35,8	3,2	o,o9	
54,6	4,o	o,o7	345,8	15,o	o,o4	12o	1o,o	o,o	–	5o,o	o,o	–	
66,3	6,5	o,1o	471,7	13,3	o,o3	18o min	1o,o	o,o	–	72,8	3,1	o,o4	
91,7	5,4	o,o6	637,5	17,3	o,o3	24 h	15,3	o,7	o,o5	93,5	3,7	o,o4	
						1,6g/o,5o ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
–	–	–	5o,8	6,6	o,13	1o min	–	–	–	7,2	2,5	o,35	
2o,o	o,o	–	129,6	7,1	o,o5	2o	5,8	2,o	o,3o	17,5	2,5	o,o7	
4o,o	6,9	o,17	235,o	13,o	o,o6	3o	1o,o	o,o	–	31,9	5,5	o,17	
62,1	4,6	o,o7	344,2	8,6	o,o2	6o	1o,o	o,o	–	5o,o	o,o	–	
7o,8	2,o	o,o3	473,3	8,8	o,o2	12o	1o,o	o,o	–	68,9	3,3	o,o5	
87,5	5,2	o,o6	612,5	14,o	o,o2	18o min	13,3	2,6	o,2o	92,3	2,5	o,o3	
137,5	9,8	o,o7	787,5	13,7	o,o2	24 h	2o,6	2,3	o,1o	124,7	4,1	o,o3	

Tabelle16: Cupro-Dur

Länge							Breite						
37°C / 1oo%			23°C / 55%			1,95g/o,5o ml	37°C / 1oo%			23°C / 55%		
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V
-	-	-	-	-	-	1o min	-	-	-	-	-	-
1o,o	o,o	-	49,2	6,6	o,14	2o	-	-	-	7,5	2,3	o,o3
2o,o	o,o	-	87,9	7,5	o,o9	3o	-	-	-	15,5	1,3	o,o9
31,7	2,6	o,o8	157,5	9,4	o,o6	6o	5,o	o,o	-	23,3	2,6	o,1o
35,o	3,2	o,o9	255,o	5,5	o,o2	12o	5,o	o,o	-	4o,o	o,o	-
43,3	2,6	o,o6	365,o	7,7	o,o2	18o min	7,5	2,7	o,36	57,5	2,7	o,o5
68,7	3,4	o,o5	532,5	7,6	o,o2	24 h	1o,3	o,7	o,o7	8o,o	o,o	-
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	1,75g/o,5o ml	$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V
-	-	-	-	-	-	1o min	-	-	-	-	-	-
15,o	o,o	-	88,3	5,2	o,o6	2o	-	-	-	5,o	o,o	-
25,o	o,o	-	164,2	7,4	o,o5	3o	5,3	o,7	o,13	25,o	o,o	-
33,8	1,4	o,o4	276,2	11,8	o,o4	6o	6,7	2,6	o,4o	41,7	2,6	o,o6
46,3	3,8	o,o9	369,2	6,6	o,o2	12o	7,5	2,7	o,36	57,5	4,2	o,o7
65,4	6,o	o,o9	5o7,9	19,5	o,o4	18o min	1o,o	o,o	-	8o,o	o,o	-
97,5	5,9	o,o6	687,5	17,2	o,o3	24 h	15,4	1,6	o,1o	1o4,2	4,9	o,o5
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	1,55g/o,5o ml	$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V
-	-	-	6o,o	7,1	o,12	1o min	-	-	-	1o,o	o,o	-
25,o	o,o	-	144,2	8,6	o,o6	2o	5,o	o,o	-	21,7	2,6	o,1o
4o,8	3,8	o,o9	25o,8	12,o	o,o5	3o	6,7	2,6	o,4o	39,2	2,o	o,o5
58,3	5,2	o,o9	353,3	1o,8	o,o3	6o	1o,o	o,o	-	54,3	3,8	o,o7
73,7	4,7	o,o6	5o2,5	15,2	o,o3	12o	1o,o	o,o	-	71,7	2,6	o,o3
94,6	5,1	o,o5	642,5	6,9	o,o1	18o min	15,o	o,o	-	93,3	2,6	o,o3
142,2	9,6	o,o7	815,8	15,o	o,o2	24 h	19,4	1,4	o,o7	13o,o	o,o	-

Tabelle 17 Keratit-Cuproxal-hell

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			2,0g/0,50 ml	37°C / 100%			23°C / 55%			
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
-	-	-	-	-	-	10 min	-	-	-	-	-	-	
20,0	0,0	-	71,3	7,0	0,10	20	-	-	-	10,0	0,0	-	
30,8	2,0	0,06	132,1	7,5	0,06	30	5,5	1,4	0,24	20,0	0,0	-	
44,2	5,8	0,13	233,3	10,8	0,05	60	6,4	2,2	0,34	35,0	0,0	-	
52,5	7,4	0,14	341,7	12,4	0,04	120	7,7	2,3	0,30	50,8	2,0	0,04	
77,1	12,7	0,16	415,0	11,4	0,06	180 min	11,7	2,6	0,20	59,9	2,6	0,04	
100,8	18,8	0,20	615,8	14,6	0,02	24 h	15,3	3,2	0,20	92,5	2,7	0,03	
						1,8g/0,50 ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
-	-	-	40,0	1,0	0,02	10 min	-	-	-	7,5	2,3	0,50	
25,0	3,2	0,13	128,3	11,2	0,09	20	4,5	2,3	0,50	19,7	2,0	0,10	
32,8	4,0	0,12	169,9	10,8	0,05	30	6,1	2,0	0,30	30,0	3,2	0,11	
50,0	5,7	0,11	313,3	7,5	0,02	60	9,2	2,0	0,20	45,5	0,8	0,02	
65,4	7,0	0,10	439,2	12,8	0,03	120	10,0	0,0	-	66,7	4,1	0,06	
82,5	8,4	0,10	579,2	11,6	0,02	180 min	13,3	2,6	0,20	86,1	3,7	0,04	
134,2	13,2	0,10	772,5	17,2	0,02	24 h	19,2	2,0	0,10	122,5	4,2	0,03	
						1,6g/0,50 ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
-	-	-	71,2	7,4	0,10	10 min	-	-	-	10,0	0,0	-	
33,4	2,6	0,08	169,2	8,0	0,40	20	5,0	0,0	-	25,0	3,2	0,13	
53,7	7,4	0,14	294,2	10,8	0,03	30	7,8	2,0	0,26	48,3	2,6	0,05	
78,3	6,8	0,09	410,6	8,6	0,02	60	13,1	2,5	0,19	65,8	2,0	0,03	
98,3	5,4	0,05	569,2	12,8	0,02	120	15,0	0,0	-	84,2	3,8	0,05	
134,2	11,1	0,08	730,0	17,3	0,02	180 min	20,0	0,0	-	110,0	0,0	-	
205,0	13,5	0,07	915,0	25,1	0,03	24 h	31,7	2,1	0,07	136,7	6,1	0,04	

Tabelle 18 Harvardid

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			1,4g/o,5o ml	37°C / 100%			23°C / 55%			
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
–	–	–	–	–	–	1o min	–	–	–	–	–	–	
–	–	–	7o,o	7,1	o,1o	2o	–	–	–	1o,o	o,o	–	
1o,o	o,o	–	142,1	5,1	o,o8	3o	–	–	–	21,7	2,6	o,12	
2o,o	o,o	–	192,5	1o,8	o,o6	6o	–	–	–	29,4	1,4	o,o5	
3o,o	o,o	–	26o,o	8,9	o,o3	12o	5,o	o,o	–	4o,o	o,o	–	
37,5	2,2	o,o6	35o,o	7,1	o,o2	18o min	5,o	o,o	–	5o,o	o,o	–	
62,5	6,9	o,1o	518,3	15,7	o,o3	24 h	1o,o	o,o	–	77,2	8,2	o,11	
						1,2g/o,5o ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
–	–	–	3o,4	5,6	o,18	1o min	–	–	–	5,o	o,o	–	
1o,o	o,o	–	85,8	1o,2	o,12	2o	4,2	2,o	o,14	14,2	2,o	o,14	
3o,o	o,o	–	185,8	7,4	o,o4	3o	5,o	o,o	–	24,7	o,7	o,o3	
37,9	3,3	o,o9	293,3	12,1	o,o4	6o	5,o	o,o	–	42,5	2,7	o,o6	
5o,o	4,5	o,o9	411,7	17,5	o,o4	12o	7,5	2,3	o,31	58,3	2,6	o,o4	
65,4	6,o	o,o9	52o,8	37,2	o,o7	18o min	1o,o	o,o	–	73,3	2,6	o,o4	
92,5	5,2	o,o6	696,7	27,9	o,o4	24 h	14,7.	o,7	o,o5	11o,o	6,3	o,o6	
						1,0g/o,5o ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
–	–	–	5o,8	6,6	o,13	1o min	–	–	–	1o,o	o,o	–	
3o,8	2,o	o,o6	15o,2	8,9	o,o7	2o	5,o	o,o	–	2o,o	o,o	–	
45,4	5,1	o,1o	274,2	18,o	o,o7	3o	6,7	2,6	o,4o	43,9	3,7	o,o9	
6o,8	7,4	o,12	425,8	11,1	o,o3	6o	1o,o	o,o	–	6o,o	o,o	–	
76,2	8,9	o,12	543,3	8,8	o,o2	12o	12,5	2,7	o,2o	8o,8	3,8	o,o5	
85,6	6,6	o,o8	649,2	14,3	o,o2	18o min	15,o	o,o	–	1oo,o	o,o	–	
13o,o	7,1	o,o5	851,7	16,3	o,o2	24 h	2o,o	o,o	–	135,3	3,3	o,o2	

Tabelle 19 Tenet

	Länge						Breite					
	37°C / 100%			23°C / 55%			37°C / 100%			23°C / 55%		
	$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V
1,4g/0,50 ml	–	–	–	30,0	0,0	–	–	–	–	5,0	0,0	–
10 min	–	–	–	79,2	8,0	0,10	–	–	–	11,4	2,2	0,19
20	20,0	0,0	–	175,8	9,8	0,06	–	–	–	27,5	2,7	0,10
30	29,2	2,0	0,07	231,7	6,8	0,03	5,0	0,0	–	35,8	2,0	0,06
60	37,1	4,0	0,11	310,0	10,5	0,03	5,8	2,0	0,34	48,3	2,6	0,05
120	42,1	2,5	0,06	392,5	13,3	0,03	7,5	2,7	0,37	61,7	2,6	0,04
180 min	69,2	7,4	0,11	574,6	14,7	0,03	10,0	0,0	–	87,5	5,2	0,06
24 h												
1,2g/0,50 ml												
10 min	–	–	–	40,0	0,0	–	–	–	–	6,7	2,6	0,40
20	20,0	0,0	–	114,2	8,0	0,07	–	–	–	18,3	2,6	0,14
30	34,6	4,6	0,13	235,0	10,5	0,04	5,0	0,0	–	37,7	2,7	0,07
60	52,5	6,2	0,12	354,2	8,6	0,02	9,2	2,0	0,22	53,3	2,6	0,05
120	65,0	6,5	0,10	465,4	10,2	0,02	10,0	0,0	–	73,3	2,6	0,04
180 min	78,3	5,4	0,07	565,8	10,2	0,03	12,8	1,7	0,13	86,4	2,8	0,03
24 h	113,3	10,5	0,08	765,8	11,2	0,02	15,8	2,0	0,13	123,3	4,1	0,03
1,0g/0,50 ml												
10 min	–	–	–	65,8	5,9	0,09	–	–	–	10,0	0,0	–
20	40,0	0,0	–	180,0	7,1	0,04	6,7	2,6	0,39	27,5	2,7	0,10
30	58,4	2,5	0,04	328,3	5,3	0,02	10,0	0,0	–	50,8	2,0	0,15
60	79,2	4,9	0,06	450,0	12,3	0,03	12,8	2,3	0,18	67,9	2,5	0,04
120	100,0	7,1	0,07	575,8	10,2	0,02	14,4	0,9	0,06	88,3	2,6	0,03
180 min	109,2	8,0	0,07	672,5	15,4	0,02	16,7	2,1	0,13	103,3	4,1	0,04
24 h	143,3	7,5	0,05	893,3	11,7	0,02	21,7	1,9	0,09	147,2	2,5	0,05

Tabelle 2o Fixodont N

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			1,3g/o,5o ml	37°C / 100%			23°C / 55%			
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
–	–	–	46,7	8,2	o,18	1o min	–	–	–	7,8	2,5	o,23	
2o,o	o,o	–	95,8	9,7	o,1o	2o	–	–	–	15,o	o,o	–	
28,3	2,6	o,o9	183,3	8,8	o,o5	3o	5,o	o,o	–	28,3	2,6	o,o9	
36,7	4,1	o,11	255,o	1o,3	o,o4	6o	5,o	o,o	–	38,3	2,6	o,o7	
41,7	5,2	o,12	326,7	1o,3	o,o3	12o	5,6	1,4	o,24	5o,o	o,o	–	
55,o	4,2	o,o8	412,5	11,7	o,o3	18o min	1o,o	o,o	–	63,3	4,1	o,o6	
86,3	9,5	o,11	595,o	14,1	o,o2	24 h	15,o	o,o	–	9o,8	5,8	o,o6	
						1,1g/o,5o ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
–	–	–	6o,o	o,o	–	1o min	–	–	–	1o,o	o,o	–	
3o	o,o	–	135,o	11,6	o,o9	2o	5,o	o,o	–	2o,o	o,o	–	
44,2	9,2	o,21	24o,3	7,6	o,o3	3o	7,5	2,7	o,37	4o,8	2,o	o,o5	
54,2	6,o	o,1o	36o,o	7,1	o,o2	6o	9,2	2,o	o,22	55,o	3,2	o,o6	
73,3	1o,3	o,14	453,3	13,7	o,o3	12o	11,7	2,6	o,22	73,3	2,6	o,o4	
87,5	11,7	o,13	555,o	13,4	o,o3	18o min	13,3	1,8	o,14	82,5	4,2	o,o5	
124,2	11,1	o,o9	775,8	17,4	o,o2	24 h	2o,o	o,o	–	127,5	4,2	o,o3	
						o,9g/o,5o ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
–	–	–	85,4	1o,8	o,13	1o min	–	–	–	14,2	2,o	o,14	
42,2	4,9	o,1o	19o,3	12,3	o,1o	2o	9,7	o,7	o,o7	26,7	2,6	o,1o	
62,5	3,2	o,o5	327,5	18,2	o,o6	3o	1o,o	o,o	–	49,2	3,8	o,o8	
81,7	11,3	o,14	473,3	8,2	o,o2	6o	13,3	2,6	o,22	7o,o	o,o	–	
93,3	13,3	o,14	584,2	19,9	o,o4	12o	15,o	3,2	o,21	91,7	4,1	o,o4	
1oo,3	12,9	o,12	699,2	14,3	o,o2	18o min	17,8	2,5	o,14	1o6,7	4,1	o,o4	
152,7	14,7	o,o9	939,2	15,5	o,o2	24 h	23,3	2,6	o,11	15o,8	2,o	o,o1	

Tabelle 21 Harvard N

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			1,4g/0,5o ml	37°C / 100%			23°C / 55%		
x̄	s	V	x̄	s	V		x̄	s	V	x̄	s	V
–	–	–	53,3	4,1	o,o8	1o min	–	–	–	8,3	2,1	o,31
2o,o	o,o	–	113,3	1o,8	o,1o	2o	–	–	–	16,7	2,6	o.16
3o,o	o,o	–	186,7	12,2	o,o6	3o	5,o	o,o	–	27,5	2,7	o,1o
42,1	4,6	o,1o	258,3	11,7	o,o5	6o	5,8	2,o	o,34	4o,o	o,o	–
48,2	4,2	o,12	335,o	6,3	o,o2	12o	7,5	2,7	o,37	5o,o	o,o	–
51,2	3,1	o,o6	435,o	13,8	o,o3	18o min	8,3	2,1	o,31	67,5	2,7	o,o4
87,1	7,8	o,o9	624,2	17,4	o,o3	24 h	13,1	2,5	o,19	95,o	5,5	o,o6
						1,2g/o,5o ml						
x̄	s	V	x̄	s	V		x̄	s	V	x̄	s	V
–	–	–	6o,o	8,2	o,13	1o min	–	–	–	5,o	o,o	–
3o,o	o,o	–	134,2	11,1	o,o8	2o	5,o	o,o	–	19,7	o,7	o,o4
4o,8	5,8	o,14	252,o	2o,7	o,o8	3o	5,8	2,o	o,34	4o,o	o,o	–
58,3	8,2	o,14	362,5	17,8	o,o5	6o	9,2	1,2	o,o6	54,2	4,9	o,o9
95,6	13,2	o,15	493,3	11,1	o,o2	12o	14,2	2,o	o,14	77,5	4,2	o,o5
114,6	7,5	o,o7	566,7	12,1	o,o2	18o min	18,3	2,6	o,14	9o,o	o,o	–
153,3	8,2	o,o5	783,3	16,3	o,o2	24 h	22,5	2,7	o,12	13o,8	2,o	o,o2
						1,0g/o,5o ml						
x̄	s	V	x̄	s	V		x̄	s	V	x̄	s	V
–	–	–	85,8	11,1	o,13	1o min	–	–	–	14,2	2,o	o,14
5o,o	6,3	o,13	183,3	1o,8	o,o6	2o	7,2	2,5	o,35	26,4	4,3	o,16
6o,8	7,4	o,12	348,3	16,3	o,o5	3o	1o,o	o,o	–	53,3	4,1	o,o8
93,3	13,3	o,14	496,4	12,5	o,o3	6o	14,2	2,o	o,14	75,o	5,5	o,o7
11o,4	11,3	o,1o	573,3	26,6	o,o5	12o	19,2	2,o	o,1o	93,3	5,2	o,o6
133,4	3,8	o,o7	7o4,2	18,3	o,o3	18o min	2o,o	o,o	–	11o,8	8,o	o,o7
179,2	9,2	o,o5	92o,8	14,3	o,o2	24 h	28,2	2,6	o,o9	15o,o	o,o	–

Tabelle 22 Harvard S

Länge							Breite						
37°C / 100%			23°C / 55%			0,9g/0,5o ml	37°C / 100%			23°C / 55%			
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
-	-	-	65,0	4,5	0,07	10 min	-	-	-	10,0	0,0	-	
30,0	0,0	-	152,7	9,3	0,06	20	5,0	0,0	-	21,7	2,6	0,12	
39,2	4,9	0,20	225,8	19,1	0,03	30	5,3	0,7	0,13	33,9	4,9	0,14	
50,4	3,3	0,07	290,8	9,7	0,03	60	10,0	0,0	-	46,7	2,6	0,06	
58,8	5,9	0,10	386,3	11,6	0,03	120	10,0	0,0	-	60,0	0,0	-	
67,9	4,6	0,07	492.5	12,1	0,02	180 min	10,6	1,3	0,13	87,3	2,6	0,03	
101,2	6,3	0,06	704,2	13,6	0,02	24 h	14,7	0,7	0,05	104,2	3,8	0,04	
						0,75g/0,5o ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
-	-	-	98,3	13,7	0,14	10 min	-	-	-	15,8	3,8	0,24	
42,5	4,2	0,10	185,0	11,8	0,06	20	6,7	2,6	0,40	30,0	0,0	-	
59,2	7,4	0,13	307,5	13,7	0,04	30	10,0	0,0	-	48,3	2,6	0,05	
74,6	9,3	0,13	420,0	12,6	0,03	60	11,7	2,6	0,22	65,8	4,9	0,07	
100	9,3	0,09	553,3	12,5	0,02	120	15.0	0,0	-	87,5	4,3	0,05	
130,8	7,4	0,06	665,0	17,5	0,03	180 min	20,0	0,0	-	103,3	4,1	0,04	
156,3	4,0	0,03	905,0	15,5	0,02	24 h	26,7	2,6	0,10	147,5	4,2	0,03	
						0,5g/0,5o ml							
$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V		$\bar{x}$	s	V	$\bar{x}$	s	V	
-	-	-	121,7	12,9	0,11	10 min	-	-	-	18,3	2,6	0,14	
57,5	4,2	0,07	247,5	13,3	0,05	20	8,3	2,1	0,30	38,3	2,6	0,07	
88,0	9,5	0,12	371,7	19,7	0,05	30	12,5	2,7	0,22	57,5	4,2	0,07	
115,0	7,1	0,06	554,2	32,0	0,06	60	17,5	2,7	0,15	88,3	4,1	0,05	
143,3	8,2	0,05	697,5	28,2	0,04	120	21,7	2,6	0,12	103,4	4,1	0,04	
151,7	16,0	0,11	853,3	20,9	0,02	180 min	24,2	2,0	0,08	133,5	5,2	0,04	
224,5	21,3	0,10	1100,0	32,9	0,03	24 h	36,7	2,6	0,07	168,3	11,2	0,07	

Tabelle 23 Badenia Super Phos II

Herrn Prof. Dr. Eichner möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Dissertationsthemas und für seine wertvollen Hinweise herzlich danken.

Herr Prof. Dr. Viohl stand mir mit wertvollen Anregungen und Erfahrungen zur Seite, ihm gilt mein besonderer Dank.

Lebenslauf

Am 26.9.1945 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Dr. Johannes Weyers und seiner Ehefrau Sieglinde, geb. König, in Sondershausen/Thüringen, geboren.

Im Februar 1947 kam ich nach Berlin. Hier besuchte ich von 1949 - 1951 den Kindergarten der Erlösergemeinde im Bezirk Tiergarten.

1952 - 1956 besuchte ich die 6. Grundschule des Bezirks Tiergarten. 1956 - 1958 die Lateinklasse der 2. Grundschule. 1959 - 1966 war ich dann Schüler des Menzelgymnasiums, wo ich 1966 ein humanistisches Abitur ablegte.

1966 begann ich mein Studium der Zahnheilkunde an der Freien Universität Berlin, an der ich 1971 mein Examen ablegte.

Danach nahm ich eine Tätigkeit als Assistent in einer Zahnarztpraxis an. Im März 1972 begann ich mit der Dissertation.